

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
19 février 2004 (19.02.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
WO 2004/015725 A2

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : H01F 7/16

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2003/002410

(22) Date de dépôt international : 30 juillet 2003 (30.07.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
02 09882 2 août 2002 (02.08.2002) FR

(71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) : COM-  
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR];  
31/33, rue de la Fédération, F-75752 PARIS 15ème (FR).  
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIEN-  
TIFIQUE [FR/FR]; 3 rue Michel Ange, F-75794 PARIS

CEDEX 16 (FR). INSTITUT NATIONAL POLY-  
TECHNIQUE DE GRENOBLE [FR/FR]; 46 avenue  
Félix Viallet, F-38031 GRENOBLE (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : ROS-  
TAING, Hervé [FR/FR]; 15, rue des Aiguinards, F-38240  
MEYLAN (FR). DELAMARE, Jérôme [FR/FR]; 12  
rue Ernest Calvat, F-38000 GRENOBLE (FR). CUGAT,  
Orphée [FR/FR]; 1 rue Chamechaude, F-38320 POISAT  
(FR). DIEPPEDALE, Christel [FR/FR]; 646 rue Léo  
Lagrange, F-38920 CROLLES (FR).

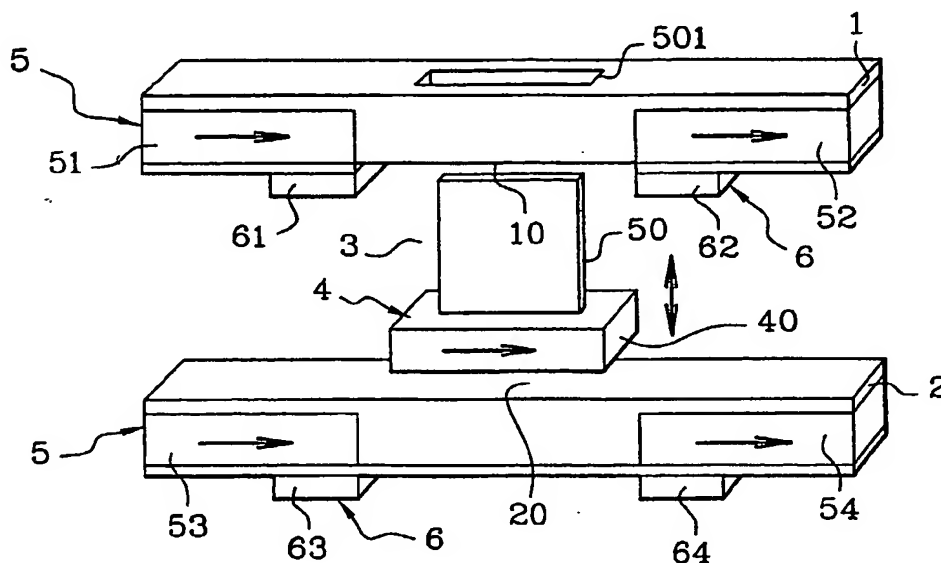
(74) Mandataire : SIMONNET, Christine; c/o BRE-  
VATOME, 3, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 PARIS  
(FR).

(81) État désigné (national) : US.

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: MAGNETIC LEVITATION ACTUATOR

(54) Titre : ACTIONNEUR MAGNETIQUE A LEVITATION



(57) Abstract: The invention relates to a magnetic actuator comprising a mobile magnetic part (4), a fixed magnetic part (5) and means for starting the displacement of the mobile magnetic part (4) with respect to the fixed magnetic part (5). The inventive actuator comprises at least two amagnetic supports (1, 2) arranged on the different planes, whereby forming a space (3) therebetween. The fixed magnetic part (5) is connected at least to one of the supports (1, 2). Each support (1, 2) is provided with a stop area (10, 20) for the mobile magnetic part (4) which is separated from the fixed magnetic part (5). The mobile magnetic part (4) is in levitation in the space (3) between two supports (1,2) as a result of a magnetic guidance produced by the fixed magnetic part (5) when it is not abutted against the stop area (10,20) of the supports (1, 2). The mobile magnetic part (4) is enable to take several stable magnetic positions when it is abutted against the supports (1, 2).

[Suite sur la page suivante]

WO 2004/015725 A2



(84) États désignés (régional) : brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

**Publiée :**

- *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

---

(57) **Abrége :** Il s'agit d'un actionneur magnétique comportant une partie magnétique mobile (4), une partie magnétique fixe (5) et des moyens (6) pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile (4) par rapport à la partie magnétique fixe (5). Il comporte au moins deux supports (1, 2) amagnétiques, placés dans des plans différents, délimitant entre eux un espace (3), la partie magnétique fixe (5) étant solidaire d'au moins un des supports (1, 2). Les supports (1, 2) présentent chacun une zone de butée (10, 20) pour la partie magnétique mobile (4), la zone de butée (10, 20) étant distincte de la partie magnétique fixe (5). La partie magnétique mobile (4) est en lévitation dans l'espace (3) entre les deux supports (1,2) grâce à un guidage magnétique dû à la partie magnétique fixe (5) lorsqu'elle n'est pas en butée contre la zone de butée (10, 20) de l'un des supports (1, 2). La partie magnétique mobile (4) est susceptible de prendre plusieurs positions magnétiques stables, dans chacune de ces positions, elle est en butée contre un support (1,2).

## ACTIONNEUR MAGNETIQUE A LEVITATION

### DESCRIPTION

#### DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention a pour objet un  
5 actionneur magnétique et notamment un microactionneur  
magnétique réalisable par des techniques de la  
microtechnologie, c'est à dire des techniques de micro  
usinage employées en microélectronique.

Un tel actionneur peut servir dans des  
10 systèmes divers, par exemple, en tant que microrelais  
électrique pour commander l'ouverture, la fermeture ou  
l'aiguillage d'un contact électrique, par exemple pour  
commander des transistors, en tant que microrelais  
optique pour commander le passage, l'obturation, la  
15 commutation ou l'aiguillage d'un rayon optique, en tant  
que micro valve ou micro vanne pour commander le  
passage, l'obturation ou l'aiguillage d'un fluide, en  
tant que capteur de choc ou de déplacement, en tant que  
micro pompe, en tant que positionneur pour des têtes  
20 magnétiques ou optiques, pour effectuer de  
l'enregistrement AFM (sigle anglo saxon pour Atomic  
Force Microscope soit microscope à forces atomiques) ou  
thermique, dans des tables de positionnement.

#### 25 ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

Actuellement les actionneurs réalisés en  
microtechnologie sont essentiellement des actionneurs  
thermiques ou électrostatiques. Les actionneurs  
électrostatiques sont actuellement les plus étudiés. La  
30 société Lucent commercialise un multiplexeur optique  
connu sous la dénomination de « lambda router »

comportant des actionneurs électrostatiques. Il est capable de diriger un faisceau optique issu d'une fibre optique vers une autre fibre optique choisie dans un groupe de fibres optiques. Son principe est basé sur le déplacement de micro miroirs en liaison pivot avec un substrat. Ce multiplexeur possède un temps de commutation relativement lent. De plus, de tels actionneurs posent un problème important d'alimentation électrique. En effet, ils doivent être alimentés par des tensions de plusieurs dizaines voire centaines de volts. Il faut donc leur adjoindre une alimentation spécifique qui pose problème dans des applications autonomes. Un autre inconvénient est que les déplacements restent limités par rapport à la taille de l'objet.

Bien que la technique de fabrication soit plus compliquée, il existe également quelques actionneurs magnétiques. Ils fonctionnent sur le principe de l'électroaimant et utilisent essentiellement des circuits magnétiques à base de fer et une bobine d'excitation. Ils comportent une partie magnétique fixe et une partie magnétique mobile qui est mécaniquement reliée à la partie magnétique fixe. Un circuit électrique permet d'exciter la partie magnétique mobile pour lui faire prendre une position de travail en la faisant se déplacer par rapport à la partie magnétique fixe. En l'absence d'excitation la partie magnétique mobile est dans une position de repos.

On connaît dans l'article « Latching micro magnetic relays with multistrip permalloy cantilevers »

de M. RUAN et J. SHEN publié dans IEEE MEMS 2001 pages 224 à 227 un microactionneur magnétique à aimant réalisé sur un substrat de silicium. L'aimant est fixe, il est encastré dans le silicium et est recouvert par un bobinage de commande. La partie magnétique mobile est en forme de poutre avec une liaison pivot en son centre permettant un mouvement de bascule par rapport à la partie magnétique fixe.

Un autre type de microactionneur magnétique à aimant a été décrit sur le site Internet du Laboratoire de recherche de la société IBM à Zurich ([www.zurich.ibm.com](http://www.zurich.ibm.com)) sous le titre « Electromagnetic scanner » en avril 2001. Le microactionneur fonctionne sur le principe du haut-parleur. Des bobines planes placées sur un substrat commandent le déplacement d'aimants solidaires d'une platine, cette dernière étant suspendue mécaniquement par des poutres flexibles à un cadre fixe solidaire du substrat.

Dans tous ces actionneurs, la partie magnétique mobile est reliée mécaniquement à la partie magnétique fixe. Cette liaison mécanique est délicate à réaliser par des techniques collectives de fabrication. De plus, cette connexion limite la mobilité de la partie magnétique mobile, cette mobilité résulte d'une déformation d'un des éléments reliant la pièce mobile à la pièce fixe. Cette déformation peut induire, lors des déplacements, une fatigue de l'élément reliant la pièce magnétique mobile à la pièce magnétique fixe. Les performances en vitesse de tels actionneurs magnétiques sont faibles.

Les forces d'entraînement de la partie magnétique mobile sont dues au champ magnétique créé par au moins une bobine. Or à densité de courant constante, une microbobine crée une force bien plus  
5 faible qu'une bobine de même forme mais de plus grandes dimensions. Les performances de tels actionneurs restent donc médiocres. Les forces massiques qu'ils sont susceptibles de fournir sont faibles relativement à leur taille.

10 De plus, de tels actionneurs doivent être alimentés électriquement lorsqu'ils sont en position de travail. En l'absence d'alimentation, ils reviennent en position de repos. Leur consommation électrique n'est pas négligeable.

15

#### EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a justement pour but de proposer un actionneur magnétique qui ne présente pas les inconvénients mentionnés ci-dessus.

20 Cet actionneur utilise le principe du guidage magnétique d'une partie magnétique mobile, c'est à dire du déplacement sans contact mécanique autre que celui de l'air ambiant, lorsqu'on l'utilise dans l'air.

25 L'actionneur magnétique de la présente invention est particulièrement adapté à une réalisation en microtechnologie.

Plus précisément la présente invention est un actionneur magnétique comportant une partie  
30 magnétique mobile, une partie magnétique fixe et des moyens pour déclencher le déplacement de la partie

magnétique mobile par rapport à la partie magnétique fixe. Il comporte au moins deux supports amagnétiques placés dans des plans différents, délimitant entre eux un espace, la partie magnétique fixe étant solidaire  
5 d'au moins un des supports, les supports présentant chacun une zone de butée pour la partie magnétique mobile, la zone de butée et la partie magnétique fixe étant distinctes. La partie magnétique mobile est en lévitation dans l'espace entre les deux supports grâce  
10 à un guidage magnétique dû à la partie magnétique fixe lorsqu'elle n'est pas en butée contre la zone de butée de l'un des supports, la partie magnétique mobile est susceptible de prendre plusieurs positions magnétiques stables et dans ces positions elle est en butée contre  
15 un support.

Par position magnétique stable, on entend une position stable dans laquelle il y a une interaction magnétique entre la partie magnétique mobile et la partie magnétique fixe et qui ne nécessite  
20 pas d'alimentation électrique pour le maintien de cette position.

Ainsi lors de son déplacement, la partie magnétique mobile n'est pas reliée mécaniquement à la partie magnétique fixe et il n'y a pas de guidage  
25 mécanique entre la partie magnétique mobile et la partie magnétique fixe.

De manière avantageuse et simple, la partie magnétique mobile comporte un aimant.

La partie magnétique fixe peut comporter au  
30 moins une pièce magnétique.

La pièce magnétique peut être un aimant.  
Elle peut être thermomagnétique.

La partie magnétique fixe peut comporter au moins une paire de pièces magnétiques sur un support.

5 L'interaction entre la partie magnétique fixe et la partie magnétique mobile réalise un centrage de la partie magnétique mobile sur la zone de butée, mais ce centrage peut être renforcé. Pour cela, la partie magnétique mobile et au moins un des supports  
10 peuvent comporter des moyens de centrage mécanique de la partie magnétiques mobile sur la zone de butée dudit support.

Les moyens de centrage magnétiques peuvent être des reliefs sensiblement biseautés ou chanfreinés  
15 portés à la fois par le support et la partie magnétique mobile, ces reliefs ayant des formes conjuguées.

La partie magnétique fixe contribue à délimiter au moins une des zones de butée.

Les moyens pour déclencher le déplacement  
20 de la partie magnétique mobile peuvent être portés par au moins un des supports.

Ils peuvent avoir un effet magnétique.

Les moyens pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile peuvent chauffer la  
25 partie magnétique fixe et modifier ses propriétés magnétiques.

Dans une variante, les moyens pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile peuvent créer un champ magnétique au voisinage  
30 de la partie magnétique mobile. Dans ce cas, ils peuvent être réalisés par au moins un conducteur apte à



être parcouru par un courant électrique. La consommation en énergie est nulle lorsque la partie magnétique mobile est en butée contre l'un des supports amagnétique, c'est à dire en position de travail.

5 Il est possible de prévoir des moyens pour asservir le courant à faire circuler dans le conducteur, à la position de la partie magnétique mobile, de manière à ce qu'elle puisse prendre une pluralité de positions stables en lévitation.  
10 L'actionneur magnétique peut alors servir de positionneur.

Selon un autre mode de réalisation, les moyens pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile peuvent être des moyens pneumatiques  
15 ou hydrauliques.

La partie magnétique fixe peut être réalisée dans un matériau choisi dans le groupe des matériaux magnétiques doux, des matériaux magnétiques durs, des matériaux à hystérésis, des matériaux supra  
20 conducteurs, des matériaux diamagnétiques, ces matériaux étant pris seuls ou en combinaison.

Les supports peuvent être réalisés à base de matériau semi-conducteur, de matériau diélectrique ou de matériau conducteur, ces matériaux étant pris  
25 seuls ou en combinaison.

Il est particulièrement avantageux au point de vue fabrication, que l'aimantation de la partie magnétique fixe et celle de la partie magnétique mobile soient dirigées dans une même direction.

30 Pour que l'actionneur magnétique puisse fonctionner en relais électrique, au moins une zone de

butée comporte une paire de contacts électriques et la partie magnétique mobile comporte au moins un contact électrique, la partie magnétique mobile venant relier les deux contacts électriques de la paire de contacts électriques, lorsqu'elle est en butée contre la zone de butée.

Pour que l'actionneur magnétique puisse fonctionner en valve, l'un au moins des supports comporte dans la zone de butée, un orifice de passage d'un fluide.

Pour que l'actionneur magnétique puisse fonctionner en relais optique, la partie magnétique mobile comporte un miroir destiné à passer à travers une fente de l'un des supports.

La présente invention concerne également une matrice d'actionneurs magnétiques, elle comporte une pluralité d'actionneurs magnétiques ainsi caractérisés, ces actionneurs magnétiques partageant au moins un même support.

La présente invention concerne également un procédé de réalisation d'un actionneur magnétique. Il comporte les étapes suivantes :

sur un premier substrat amagnétique réalisation d'un cadre sacrificiel suivant le contour d'une base d'une partie magnétique mobile,

dépôt d'une première couche diélectrique sur le premier substrat et réalisation d'au moins un caisson apte à recevoir une partie magnétique fixe,

dépôt dans le caisson de la partie magnétique fixe,

dépôt d'une seconde couche diélectrique sur la première couche diélectrique et réalisation de caissons aptes à recevoir la partie magnétique mobile et au moins un conducteur de moyens pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile,

dépôt dans les caissons de la partie magnétique mobile et du conducteur,

gravure dans les couches diélectriques d'une ou plusieurs tranchées atteignant le cadre sacrificiel,

assemblage du premier substrat retourné sur un second substrat amagnétique de façon à délimiter un espace entre les deux substrats, cet espace étant destiné au déplacement de la partie magnétique mobile,

gravure du premier substrat et retrait du cadre sacrificiel pour libérer la partie magnétique mobile et la base.

Le procédé peut comporter une étape d'insertion d'au moins une entretoise entre le premier et le second substrat au moment de l'assemblage.

Dans une variante, l'espace peut être formé par des billes en matériau fusible, insérées entre le premier et le second substrat au moment de l'assemblage et un recuit desdites billes après assemblage.

Le procédé peut comporter, avant l'assemblage des deux substrats, les étapes suivantes :

réalisation sur le second substrat, dans une première couche diélectrique, d'au moins un caisson apte à recevoir la partie magnétique fixe,

dépôt dans le caisson de la partie magnétique fixe,

dépôt d'une seconde couche diélectrique sur la première couche diélectrique et réalisation d'au moins un caisson apte à recevoir au moins un conducteur des moyens pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile,

dépôt dans le caisson du conducteur.

Le procédé peut prévoir une étape d'aimantation de la partie magnétique mobile et éventuellement de la partie magnétique fixe avant l'étape de libération de la partie magnétique mobile.

Le premier substrat est aminci avant l'étape de gravure du premier substrat, la partie gravée ayant une fonction de miroir.

Le premier substrat et le second substrat peuvent être réalisés à base de matériau semi-conducteur ou de matériau diélectrique.

#### BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

- les figures 1A, 1B montrent dans deux positions stables un actionneur magnétique selon l'invention fonctionnant en tant que valve;

- la figure 2 montre un actionneur magnétique selon l'invention fonctionnant en tant que vanne;

- la figure 3 montre les lignes de champ magnétique qui s'établissent autour de l'aimant de la partie magnétique mobile d'un actionneur magnétique

selon l'invention, ainsi que les conducteurs des moyens pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile;

- les figures 4A, 4B, 4C montrent respectivement, un actionneur magnétique selon l'invention fonctionnant en tant que relais électrique, en tant que commutateur électrique, et une vue de dessus des bobinages supérieurs des moyens pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile;

- les figures 5A et 5B montrent, dans deux positions différentes, un actionneur magnétique fonctionnant en tant que relais optique;

- les figures 6A, 6B montrent deux actionneurs magnétiques selon l'invention dont les parties magnétiques fixes sont formées d'une seule pièce magnétique par support;

- la figure 7 montre un actionneur magnétique selon l'invention fonctionnant en tant que positionneur;

- les figures 8A, 8B montrent des actionneurs magnétiques selon l'invention arrangés en matrice et partageant au moins un même support;

- la figure 9A, montre un actionneur magnétique selon l'invention;

- la figure 9B est un organigramme permettant d'expliquer comment positionner les aimants de l'actionneur de la figure 9A pour obtenir deux positions magnétiques stables de la partie magnétique mobile dans un cas très particulier;

- la figure 9C représente la force  $F_x$  qui s'applique sur la partie magnétique mobile, en butée, en fonction de sa position selon l'axe  $x$  lorsque l'actionneur possède une configuration souhaitée avec  
5 deux positions magnétiques stables en butée;

- la figure 9D représente la force  $F_x$  qui s'applique sur la partie magnétique mobile, en butée, en fonction de sa position selon l'axe  $x$  lorsque l'actionneur possède une configuration à éviter avec  
10 deux positions instables en butée;

- les figures 10A à 10I1 et 10I2 montrent un exemple de réalisation du premier support, de la partie magnétique mobile, d'une paire d'aimants et d'une paire de conducteurs d'un actionneur magnétique  
15 selon l'invention;

- les figures 11A à 11D1 et 11D2 montrent un exemple de réalisation du second support, d'une paire d'aimants et d'une paire de conducteurs d'un actionneur magnétique selon l'invention;

20 - les figures 12A1, 12A2, 12B1, 12B2 montrent les étapes d'assemblage des deux supports et de libération de la partie magnétique mobile;

- les figures 13A, 13B montrent l'étape d'assemblage du premier support des figures 10 avec un second support sans aimant, ni conducteur et l'étape de  
25 libération de la partie magnétique mobile.

Des parties identiques, similaires ou équivalentes des différentes figures décrites ci-après portent les mêmes références numériques de façon à  
30 faciliter le passage d'une figure à l'autre.

Les différentes parties représentées sur les figures ne le sont pas nécessairement selon une échelle uniforme, pour rendre les figures plus lisibles.

5

#### EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

On va se référer aux figures 1A, 1B qui montrent de manière schématique un exemple d'actionneur magnétique selon l'invention dans deux positions stables, en butée, différentes. On suppose que dans ce mode de réalisation, l'actionneur est une valve. Cet actionneur comporte un premier support 1 et un second support 2 amagnétiques, disposés en strates dans des plans différents, et délimitant entre eux un espace 3 dans lequel une partie magnétique mobile 4 est susceptible de se déplacer. On peut noter qu'il n'y a pas de notion de verticalité ou d'horizontalité car la masse de l'actionneur est très faible par rapport aux forces magnétiques mises en jeu.

Sur les figures 1A, 1B, les supports sont représentés en forme de plaques disposées sensiblement parallèlement, l'une au-dessus de l'autre, le premier support 1 étant en haut et le second support 2 en bas. Une autre orientation et/ou une autre forme des supports est possible. Les supports 1, 2 peuvent être réalisés par exemple à base de matériau semi-conducteur tel que le silicium ou l'arséniure de gallium, de matériau diélectrique tel que la céramique, le verre, ou un matériau plastique, de matériau conducteur tel que l'aluminium. Des combinaisons de plusieurs de ces matériaux sont envisageables. Toutefois, les supports

1, 2 sont, de préférence, isolants électriquement, au moins localement, dans la mesure où ils portent à la fois des parties magnétiques et des conducteurs électriques.

5 Cet actionneur comporte également une partie magnétique fixe 5 solidaire d'au moins un des supports 1, 2. Sur les figures 1A, 1B, la partie magnétique fixe 5 est formée de deux pièces magnétiques 51, 52 qui sont solidaires du premier support 1. Ces  
10 pièces magnétiques peuvent être des aimants mais ce n'est pas une obligation. On suppose dans le reste de la description que ce sont des aimants sauf mention autre. Ils sont placés sur l'une de ses faces principales, celle qui se trouve à l'opposé de l'espace  
15 3. Le second support 2 ne porte pas de partie magnétique fixe.

Ces pièces magnétiques pourraient être solidaires de son autre face principale, du côté de l'espace 3 comme le sont les aimants 51, 52 montrés les  
20 figures 5A, 5B décrites ultérieurement. Dans cette configuration les aimants 51, 52 sont inclus dans le support 1, ils y sont encastrés. Il est, en effet préférable, que la partie magnétique fixe 5 associée à un des supports et que la partie magnétique mobile 4,  
25 en butée, soient décalés, c'est à dire dans des plans différents. Si toutefois, la partie magnétique fixe se trouve du côté de l'espace 3, on donnera de préférence, aux aimants de la partie magnétique fixe et de la partie magnétique mobile des épaisseurs différentes  
30 pour obtenir ce décalage. De préférence, l'aimant mobile sera plus épais que le ou les aimants fixes.



La partie magnétique mobile 4 comporte un aimant 40. Elle est dépourvue de liaison mécanique avec la partie magnétique fixe 5. Les supports amagnétiques 1, 2 comportent chacun une zone de butée 10, 20 pour la partie magnétique mobile 4. Dans l'exemple des figures 1A, 1B, la partie magnétique fixe 5 contribue à délimiter les zones de butée 10, 20. Les deux aimants 51, 52 se trouvent de part et d'autre de la zone de butée 10. Dans tous les cas la zone de butée 10, 11 et la partie magnétique fixe 5 sont distinctes mais voisines pour que l'interaction puisse avoir lieu. La zone de butée 20 du second support 2 se trouve face à la zone de butée 10 du premier support 1. La partie magnétique mobile 4 se trouve soit en butée contre l'un des supports 1, 2, soit en lévitation dans l'espace 3 entre les deux supports 1, 2, sans aucun contact, guidée de manière magnétique par la partie magnétique fixe 5 au moins.

L'actionneur magnétique comporte également des moyens 6 pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile 4. Les moyens 6 pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile 4 ont pour fonction de modifier les forces qui interagissent sur la partie magnétique mobile 4 et donc de modifier l'équilibre de l'ensemble partie magnétique fixe-partie magnétique mobile. Ils initient le déplacement de la partie magnétique mobile 4. Ensuite le déplacement est dû aux interactions entre la partie magnétique fixe 5 et la partie magnétique mobile 4.

On suppose que dans cet exemple, les moyens 6 pour déclencher le déplacement de la partie

magnétique mobile ont un effet mécanique. Ils sont de type pneumatique ou hydraulique. Le premier support 1 est muni d'un orifice 7 se trouvant dans la zone de butée 10. On cherche à ce que dans une position magnétique stable la partie magnétique mobile 4 vienne se plaquer dans la zone de butée 10 contre le premier support 1 grâce à l'interaction qu'exerce sur elle la partie magnétique fixe 5. Elle obture alors l'orifice 7. Rien ne peut pénétrer dans l'espace 3 par l'orifice 7. Lorsqu'un fluide f est injecté au travers de l'orifice 7 vers l'espace 3 et qu'il possède une pression suffisante pour déplacer la partie magnétique mobile 4, cette dernière vient se placer dans la zone de butée 20 plaquée sur le second support 2 (figure 1A). Le fluide f peut alors pénétrer dans l'espace 3 et s'écouler latéralement selon les flèches en pointillés. Dans cette position en butée contre le second support 2, la partie magnétique mobile 4 reste en interaction avec la partie magnétique fixe 5. Si la pression du fluide f ne s'exerce plus suffisamment ou que la pression du fluide f s'inverse, la partie magnétique mobile 4 revient en position haute, en butée contre le premier support 1 et elle obture l'orifice 7 (figure 1B). Cela se produit lorsque les caractéristiques géométriques des aimants, leur aimantation et leurs positions relatives dans l'espace sont ajustées correctement.

L'interaction entre la partie magnétique fixe et la partie magnétique mobile a pour effet de centrer la partie magnétique mobile dans la zone de butée. Pour améliorer le centrage de la partie

magnétique mobile dans la zone de butée 10, 20 d'au moins un des supports 1, 2, on peut prévoir des moyens de centrage mécanique 8 de la partie magnétique mobile 4 au niveau de la zone de butée 10, 20 d'au moins un des supports 1, 2. On peut munir la partie magnétique mobile 4 et la zone de butée 10 concernée chacune d'un relief 80, 81, ces reliefs 80, 81 ayant des formes conjuguées. Ces reliefs peuvent être des parties chanfreinées ou biseautées, elles sont alors sensiblement pyramidales ou coniques. Ces reliefs 80, 81 coopèrent lorsque la partie magnétique mobile 4 est en butée contre le support 1, 2, elle vient s'encastrent dans le support.

Sur les figures 1A, 1B, les moyens d'encastrement sont localisés sur le premier support 1. Le déplacement de la partie magnétique mobile 4 peut se faire alors d'une position parfaitement centrée haute à une position basse et vice versa.

Dans l'exemple des figures 1A, 1B, ce sont les flancs de l'aimant mobile 40 qui sont sensiblement pyramidaux et le support 1 qui porte l'orifice 7 comporte une cuvette dont les flancs sont également sensiblement pyramidaux, l'aimant mobile venant se placer dans la cuvette du support en position haute.

On aurait pu envisager que l'aimant mobile soit porté par une base et que ce soit cette base qui comporte les moyens de centrage. Ces reliefs peuvent être aisément réalisés par usinage chimique notamment lorsqu'on emploie des techniques utilisées en micro électronique pour réaliser l'actionneur magnétique.

Dans l'exemple des figures 1A, 1B qui représente une valve, les moyens de centrage 8 ont également une fonction d'étanchéité au fluide lorsque la partie magnétique mobile 4 est en position haute. Le  
5 fluide ne peut s'introduire dans l'espace 3 tant que sa pression n'est pas suffisante.

Au lieu d'utiliser des moyens 6 pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile 4 sous forme pneumatique à effet mécanique, il  
10 est possible d'utiliser des moyens dont l'effet est magnétique. Ces moyens peuvent engendrer une augmentation localisée de la température et ainsi modifier les caractéristiques magnétiques de la partie magnétique fixe 5.

15 La figure 2 illustre cette caractéristique. Sur la figure 2, la partie magnétique fixe 5 est répartie sur les deux supports 1, 2. Elle comporte deux paires d'aimants référencés respectivement 51, 52, 53, 54 et chaque paire d'aimants est solidaire d'un des  
20 supports 1, 2. En répartissant sur les deux supports 1, 2 la partie magnétique fixe 5, il est plus facile de maîtriser le positionnement de la partie magnétique mobile 4 en butée. Plus généralement, les pièces magnétiques, regroupées par paires sont situées de part  
25 et d'autre d'une zone de butée.

La partie magnétique mobile 4 est susceptible de prendre plusieurs positions magnétiques stables, dans chacune de ces positions elle est en butée contre un support 1,2. Ces positions magnétiques  
30 stables ne nécessitent pas d'alimentation électrique,

la partie magnétique mobile est en interaction magnétique avec la partie magnétique fixe 5.

La figure 2 montre que les aimants 51 à 54 de la partie magnétique fixe 5 sont équipés chacun, sur  
5 une de leur face, d'une résistance de chauffage R. Ces résistances peuvent être réalisées par un dépôt métallique conducteur par exemple à base de cuivre, d'argent d'or, d'aluminium, de polysilicium. Dans cette configuration, les moyens 6 pour déclencher le  
10 déplacement de la partie magnétique mobile 4 sont répartis sur les deux supports 1, 2. On pourrait envisager qu'ils soient localisés sur l'un d'entre eux seulement comme sur la figure 4A.

En répartissant sur les deux supports 1, 2  
15 les moyens 6 pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile 4, il est plus facile de maîtriser son mouvement.

Une partie magnétique fixe 51 à 54 dotée de telles résistances R est réalisée dans un matériau  
20 thermomagnétique dont les propriétés magnétiques dépendent de la température. On pourra utiliser un matériau dont le point de Curie est bas, par exemple inférieur ou égal à 100°C, ce matériau est magnétique pour une température inférieure à son point de Curie et  
25 amagnétique pour une température supérieure. Il est également possible d'utiliser un matériau dont les propriétés de ferromagnétismes sont obtenues au-dessus d'une température dite de transition.

Le chauffage ne doit pas perturber les  
30 propriétés magnétiques de la partie magnétique mobile 4. On pourra par exemple réaliser l'aimant 40 de la

partie magnétique mobile 4 dans un matériau dont le point de Curie est supérieur à celui des aimants 51, 52 de la partie magnétique fixe 5 ou bien l'isoler thermiquement de la partie magnétique fixe 5.

5                   Au lieu de réaliser le chauffage par une résistance R, on peut envisager de venir irradier la partie magnétique fixe 5 avec un faisceau optique (par exemple laser ou diode infra-rouge) visant à la chauffer. Il est également possible de faire circuler  
10 directement un courant dans la partie magnétique fixe 5 pour la chauffer.

Dès que le mouvement de la partie magnétique mobile 4 a été initié, puisqu'elle part en butée par guidage magnétique contre l'un des supports  
15 amagnétiques, le chauffage peut être interrompu, il n'y a plus de consommation d'énergie. Lorsque la partie magnétique mobile 4 est en butée sur l'un des supports 1, 2, la consommation en énergie est également nulle.

Sur la figure 2, l'actionneur magnétique  
20 est une micro-vanne. Chacun des supports 1, 2 comporte un orifice 7 destiné à laisser un fluide f1, f2 pénétrer dans ou sortir de l'espace 3 entre les deux supports 1, 2. En fonction de la position de la partie magnétique mobile 4 seul un des fluides f1 ou f2 peut  
25 pénétrer dans ou sortir de l'espace 3. La partie magnétique empêche la pénétration de l'autre fluide.

Au lieu que les moyens 6 pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile 4 modifient les caractéristiques magnétiques de la partie  
30 magnétique fixe 5, il est possible qu'ils créent un champ magnétique qui modifie l'équilibre magnétique

établi entre la partie magnétique fixe 5 et la partie magnétique mobile 4 et par conséquent, la position d'équilibre de la partie magnétique mobile 4.

La figure 3 montre, en vue de dessus, les  
5 lignes de champ magnétique qui s'établissent autour de l'aimant 40 de la partie magnétique mobile 4 dont la direction d'aimantation est schématisée par une flèche. On suppose que l'aimant 4 est en butée sur le second support 2. Il a, dans cet exemple, une forme de  
10 parallélépipède rectangle et ses pôles sont situés aux extrémités de ses grands côtés.

Pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile 4, alors qu'elle est dans une position magnétique stable en butée contre l'un 2 des  
15 supports, il faut la soumettre à une force perpendiculaire au support (soit ici perpendiculaire à la feuille) qui est supérieure et de sens opposé à la force qui la maintient en butée.

Lorsqu'on fait circuler un courant  
20 électrique dans un conducteur électrique au voisinage d'un aimant, de telle sorte que le courant soit perpendiculaire au champ magnétique, d'après la Loi de Laplace, une force perpendiculaire à la fois au courant et au champ magnétique est générée. Le sens de la force  
25 dépend du sens de circulation du courant si la direction d'aimantation de l'aimant est fixée.

Les moyens 6 pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile 4 sont formés de deux conducteurs 61, 62 distincts, chacun entourant un pôle  
30 de l'aimant 40. Des flèches montrent le sens de circulation du courant I dans les conducteurs 61, 62,

pour qu'une force s'applique sur l'aimant 40 visant à le décoller du second support 2.

Au lieu d'utiliser deux conducteurs 61, 62 en boucle ouverte comme sur la figure 4A, chacun à une  
5 extrémité de l'aimant 40, on aurait pu utiliser un ou plusieurs conducteurs en boucle, avec une ou plusieurs spires, pour obtenir cette même circulation de courant. On suppose que c'est le cas sur les figures 4B, 4C avec une paire de bobinages (610, 620), (630, 640)  
10 solidaires de chacun des supports 1, 2. Dans l'exemple de la figure 3, une efficacité maximum est obtenue lorsque chaque pôle de l'aimant 40 est bordé par un conducteur sensiblement en demi-cercle. Pour obtenir un effort souhaité, on ajuste le positionnement et la  
15 forme du conducteur, l'intensité du courant et son sens. Le conducteur peut être réalisé tout comme la résistance par dépôt à base de métal conducteur.

On suppose que l'actionneur magnétique de la figure 4A est un relais électrique. L'un des  
20 supports 1, 2 comporte, dans la zone de butée 10, une paire de contacts électriques C1, C2 isolés l'un de l'autre. La partie magnétique mobile 4 comporte, elle, un contact électrique C qui vient relier électriquement les deux contacts électriques C1, C2 de la paire  
25 lorsque la partie magnétique mobile 4 est en butée contre le support 1 ainsi équipé.

La paire de contacts électriques C1, C2 est incluse dans un circuit électrique (non représenté) qui est fermé lorsque la partie magnétique mobile 4 est  
30 en butée contre le support 1 ainsi équipé et ouvert lorsque la partie magnétique mobile 4 est en butée



contre l'autre support 2. L'autre support 2 ne comporte pas de partie magnétique fixe, ni de moyens pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile 4.

5                   On peut comme sur la figure 4B, placer une paire de contacts électriques C1, C2 sur chacun des supports 1, 2 et équiper les deux faces principales de la partie magnétique mobile 4 d'un contact électrique C. Suivant sa position, la partie magnétique mobile 4  
10 ferme le circuit électrique du haut ou celui du bas.

On réalise alors un double relais électrique ou un commutateur électrique si un contact électrique de l'une des paires est relié à un contact électrique de l'autre paire.

15                   Sur la figure 4C, on a représenté schématiquement en vue de dessus, la paire de bobinages 610, 620 et la paire d'aimants 51, 52 solidaires du premier support 1 et la partie magnétique mobile 4.

Les figures 5A, 5B montrent maintenant un  
20 actionneur magnétique ayant une fonction de relais ou commutateur optique respectivement en position de lévitation et en position stable de travail. La partie magnétique mobile 4 est dotée d'un miroir 50. Lorsque la partie magnétique mobile 4 est en butée sur le  
25 second support 2, le miroir 50 est cantonné dans l'espace 3 entre les deux supports 1, 2. Lorsque la partie magnétique mobile 4 est en butée contre le premier support 1, le miroir 50 passe à travers une fente 501 portée par le premier support 1 et sort de  
30 l'espace 3, il surgit de l'autre côté du premier support 1. Ce miroir 50 lorsqu'il est en position haute

peut alors dévier un faisceau optique qui n'est pas dévié lorsque le miroir est en position basse. Le faisceau optique n'est pas représenté pour ne pas surcharger les figures.

5 Sur les figures 6A, 6B, les supports 1, 2 accueillent chacun une seule pièce magnétique fixe 51, 51, au lieu de plusieurs dans les exemples précédents. Cette pièce magnétique peut entourer totalement ou partiellement la zone de butée du support. Un seul des  
10 supports aurait pu être doté d'une telle pièce magnétique.

Sur la figure 6A, qui est une coupe, on distingue deux pièces magnétiques 51, 53 sensiblement en anneau. Chaque pièce magnétique entoure une zone de  
15 butée 10, 20. Une autre différence par rapport à ce qui a été décrit précédemment est que la partie magnétique mobile 4 est maintenant sensiblement cylindrique. Les moyens 6 pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile 4 prennent, dans l'exemple de la  
20 figure 6A, la forme d'une bobine dont l'axe de bobinage est parallèle à celui de la partie magnétique mobile 4. La direction d'aimantation des parties magnétiques fixe et mobile est la même, mais au lieu d'être dans le plan des supports 1, 2 sensiblement perpendiculaires au déplacement comme dans les exemples précédemment, elle  
25 est sensiblement perpendiculaire au plan des supports et sensiblement parallèle au déplacement.

Dans cet exemple, les parties magnétiques fixes 51, 53 sont encastrées dans les supports 1,2 et  
30 dans les zones de butée 10, 20, les supports sont amincis.

Sur la figure 6B, on distingue, solidaire du support 1, une pièce magnétique 51 sensiblement en U. Elle est encastrée du côté de sa face supérieure. Une autre pièce magnétique 53 est solidaire de l'autre support 2. On suppose qu'elle est également sensiblement en forme de U. Cette seconde pièce magnétique 53 aurait pu être omise. Dans cet exemple également l'un des supports 1, 2 est aminci au niveau d'une zone de butée 10. Les moyens 6 pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile 4 sont solidaires du support 1.

L'actionneur magnétique selon l'invention peut avoir une fonction de positionneur. Les moyens 6 pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile servent alors également pour maintenir la partie magnétique mobile 4 dans une position fixe en lévitation. Au lieu d'envoyer une impulsion de courant dans les conducteurs 61 à 64, on peut asservir le courant en fonction de la position de la partie magnétique mobile 4. La figure 7 illustre cette variante.

On peut utiliser un dispositif 65 qui détecte la position de la partie magnétique mobile 4. Le signal délivré par ce dispositif est comparé à une consigne K dans un comparateur 66 et le résultat de la comparaison sert à commander une source d'alimentation 67 prévue pour alimenter les conducteurs 61 à 64. Le dispositif 65 qui détecte la position de la partie magnétique mobile 4 peut prendre la forme de deux capteurs capacitifs 65.1, 65.2 localisés chacun sur un des supports 1, 2. Ils mesurent les capacités entre le

support concerné 1, 2 et la partie magnétique mobile 4. Un dispositif différentiateur 65.3 reçoit les signaux en provenance des deux capteurs capacitifs 65.1, 65.2, en fait la différence et délivre le signal  
5 représentatif de la position de la partie magnétique mobile 4 au comparateur 66.

On pourra utiliser pour réaliser la partie magnétique fixe 5, des matériaux magnétiques doux, des matériaux magnétiques durs, des matériaux magnétiques à  
10 hystérésis, des matériaux diamagnétiques, des matériaux supra-conducteurs, ces matériaux étant pris seuls ou en combinaison. Les matériaux magnétiques doux tels que le fer, le nickel, des alliages fer-nickel, fer-cobalt, fer-silicium, s'aimantent en fonction d'un champ  
15 inducteur auquel ils sont soumis. Les matériaux magnétiques durs correspondent aux aimants tels que les aimants en ferrite, les aimants au samarium-cobalt, les aimants néodyme-fer-bore, les aimants platine-cobalt. Leur aimantation dépend peu du champ magnétique  
20 extérieur. Les matériaux à hystérésis, par exemple de type aluminium-nickel-cobalt (AlNiCo), ont des propriétés qui se situent entre celles des matériaux magnétiques doux et celles des matériaux magnétiques durs. Ils sont sensibles au champ magnétique dans  
25 lequel ils se trouvent. Quant aux matériaux diamagnétiques tels que le bismuth ou le graphite pyrolitique, leur aimantation est colinéaire au champ magnétique inducteur mais de sens opposé. Les matériaux supra-conducteurs pourraient être des alliages nobium-  
30 titane (NbTi), yttrium-barium-cuivre-oxygène (YBaCuO) par exemple.

La partie magnétique mobile 4 peut être réalisée par exemple, en ferrite, en samarium-cobalt, en néodyme-fer-bore, en platine-cobalt.

Les matériaux magnétiques à point de Curie bas qui conviennent pour réaliser la partie magnétique fixe 5 sont par exemple les alliages manganèse-arsenic (MnAs), cobalt-manganèse-phosphore (CoMnP), erbium-fer-bore (ErFeB). Les alliages fer-rhodium (FeRh) conviennent également pour la partie magnétique fixe 5, ils deviennent ferro-magnétiques au-dessus d'une température de transition. Cette transition est franche et donc nécessite que peu d'énergie d'échauffement. La température de transition peut être ajustée en adaptant la composition chimique de l'alliage.

Plusieurs actionneurs magnétiques ainsi décrits peuvent partager au moins un support commun. On peut se référer aux figures 8A, 8B.

Sur la figure 8A, les différents actionneurs sont des relais optiques comme ceux des figures 5A, 5B, ils sont disposés en matrice M et leur premier support 1 est commun à tous. On obtient ainsi un multiplexeur optique. Les actionneurs magnétiques ne sont visibles que par leur miroir 50 lorsqu'il émerge de l'espace entre les deux supports, sinon leur position est matérialisée par la fente 501. Ils sont à la croisée entre n conducteurs de colonnes i1 à i5 et m conducteurs de lignes j1 à j5 (n et m sont des entiers, n et m peuvent être différents ou non). De cette manière, des signaux se propageant sur une nappe formée des n conducteurs de colonnes i1 à i5 peuvent être commutés vers les m conducteurs de lignes j1, j2, j3,

j4, j5. Ces signaux peuvent être des signaux électriques ou optiques en fonction de la nature des actionneurs. Les conducteurs de lignes et de colonnes peuvent être des conducteurs électriques, des fibres optiques ou bien simplement des faisceaux optiques. Du fait de la bistabilité des actionneurs de la matrice M, cette dernière peut être programmée et garder sa configuration sans qu'il soit nécessaire de l'alimenter électriquement. Les actionneurs A peuvent être regroupés en une matrice particulière B comme sur la figure 8B avec un conducteur de ligne i1 et plusieurs conducteurs de colonne j1 à j3. En connectant un bus sur le conducteur de ligne i1, les signaux qu'il véhicule peuvent être orientés vers les différents conducteurs de colonne j1 à j3 en fonction de l'état des différents actionneurs A. On suppose que dans cette configuration les actionneurs sont des relais électriques comme celui de la figure 4A.

On va maintenant décrire un exemple d'actionneur magnétique selon l'invention en donnant des caractéristiques géométriques et en expliquant une méthode possible pour positionner ses parties magnétiques fixes et mobiles. L'actionneur magnétique est représenté sur la figure 9A.

Une valeur minimale de la force  $F_z$  qui s'applique sur la partie magnétique mobile 4 pour la maintenir plaquée en butée contre l'un des supports 1, 2 est imposée pour que l'actionneur puisse avoir, par exemple, une résistance aux chocs suffisante. On cherche à ce que la partie magnétique mobile 4 prenne toujours la même position magnétique stable et centrée

par rapport à la partie magnétique fixe 5 lorsqu'elle arrive en butée contre l'un des supports 1, 2. On ne veut pas lors du déplacement, que la partie magnétique mobile 4 dévie selon l'axe x ou selon l'axe y. Les axes x, y et z sont représentés sur la figure. Si on la décale selon la direction x ou selon la direction y, la partie magnétique mobile 4 doit s'opposer à ce déplacement et reprendre sa position magnétique stable et centrée dans la zone de butée 10, 20. La partie magnétique mobile doit présenter une bonne stabilité latérale en position haute ou basse.

Les inventeurs se sont aperçus que pour une partie magnétique fixe 5 et une partie magnétique mobile 4 de caractéristiques données, pour une force  $F_z$  de maintien contre l'un des supports 1, 2 donnée, pour obtenir cette position magnétique stable et centrée, il fallait ajuster correctement, à la fois l'intervalle  $sep$  séparant, selon x, la partie magnétique fixe de la partie magnétique mobile et l'intervalle  $gap_z$  séparant, selon z, la partie magnétique fixe 4 de la partie magnétique mobile 5, lorsque la partie magnétique mobile est en butée contre le support 1.

On suppose que dans cet exemple, illustré à la figure 9A, la partie magnétique fixe 5 est répartie sur les deux supports et qu'elle comporte deux paires d'aimants identiques (51, 52), (53, 54). La partie magnétique mobile 4 comporte elle un aimant 40. On suppose pour simplifier que les directions d'aimantation de tous les aimants sont colinéaires et de même sens. Il est bien sûr possible que ce ne soit

pas le cas mais le positionnement des aimants devient plus compliqué.

Les moyens pour déclencher le déplacement de l'aimant mobile ne sont pas représentés pour ne pas  
5 surcharger la figure.

On commence par choisir les dimensions des aimants, leur aimantation et la course de l'aimant mobile. Ce choix est conditionné notamment par l'encombrement global que doit avoir l'actionneur  
10 magnétique. On positionne arbitrairement l'une des paires d'aimants fixes 51, 52 et l'aimant mobile 40 par rapport à cette paire d'aimants fixes. On détermine des valeurs initiales de  $sep$  et  $gapz$ . A l'aide de la méthode décrite dans l'article « 3D analytical  
15 calculation of the forces between two cuboidal magnets, JAKOUN Gilles and Yvonnet Jean-Paul, vol. MAG-20, n°5, september 1984 », on calcule les forces  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  qui s'appliquent sur l'aimant mobile 40. On peut alors déterminer la force  $F_z$  qui s'applique sur l'aimant  
20 mobile 40 lorsqu'il est en butée sur le premier support 1. Si la force  $F_z$  n'est pas dans la plage imposée, on modifie  $sep$  et/ou  $gapz$  et/ou les caractéristiques géométriques des aimants et/ou leur aimantation pour ajuster sa valeur. Plus on diminue  $gapz$  et  $sep$  plus la  
25 force  $F_z$  augmente. On peut rapprocher les deux aimants fixes et/ou réduire l'épaisseur du support 1 puisque, dans cet exemple, les aimants fixes 51, 52 sont placés d'un côté du support 1 et l'aimant mobile 40 en butée de l'autre côté du support 1. Au contraire,  
30 l'épaississement du support 1 réduit la force  $F_z$ . Lorsqu'une valeur convenable de  $F_z$  a été atteinte, il



faut ensuite déterminer si le couple de valeurs  $sep$ ,  $gapz$  qui donne la force  $Fz$  convenable, conduit à une position magnétique stable et centrée en butée. On va alors déterminer la valeur de la force  $Fx$  en fonction de sa position selon  $x$  et la valeur de la force  $Fy$  en fonction de sa position selon  $y$ . En effet, il ne suffit pas qu'en butée, on ait  $Fx=0$  avec  $x=0$  et  $Fy=0$  avec  $y=0$ , il faut également que la pente de la courbe  $Fx(x)$  soit décroissante pour  $x=0$  et que la pente de la courbe  $Fy(y)$  soit décroissante pour  $y=0$ . Ce sont ces pentes décroissantes qui conditionnent la stabilité.

Avec le couple de valeurs  $sep$  et  $gapz$  qui donne une force  $Fz$  convenable, on vérifie les conditions de stabilité en  $x$  et en  $y$ . Si l'une des deux conditions n'est pas respectée, on ajuste l'une au moins des valeurs de  $sep$  et  $gapz$ . On recommence à calculer, comme le montre l'organigramme de la figure 9B,  $Fz$ ,  $Fx$  et  $Fy$  comme décrit précédemment en ajustant  $sep$  et  $gapz$  jusqu'à ce que l'on obtienne un couple de valeurs satisfaisant.

Si la force  $Fz$  de maintien sur l'autre support 2 est identique, on disposera les aimants 53, 54 de l'autre paire avec les mêmes intervalles  $sep$  et  $gapz$ .

On peut imposer que la valeur de la force maintien  $Fz$  soit différente d'un support à l'autre. On recommence les mêmes calculs pour positionner l'autre paire d'aimants fixes 53, 54 par rapport à l'aimant mobile 40 pour obtenir une force  $Fz$  convenable et les conditions de stabilité, lorsque l'aimant mobile 40 est en butée sur l'autre support 2.

Sur l'organigramme, on a ajusté sep et gapz à partir de  $F_x$  et ensuite à partir de  $F_y$ . Il est bien sûr possible de faire l'inverse. Il aurait également été possible de modifier les caractéristiques géométriques et magnétiques des aimants.

A titre d'exemple, des essais ont été faits avec des aimants fixes 51 à 54 ayant un volume de  $60 \times 40 \times 5$  micromètres au cube, un aimant mobile 40 de  $160 \times 40 \times 5$  micromètres au cube et une aimantation de 0,6 T. Le poids de la partie magnétique mobile vaut environ  $2 \cdot 10^{-8}$  N, la force  $F_z$  de maintien en position magnétique stable de l'aimant mobile contre le premier support 1 vaut environ  $4 \cdot 10^{-7}$  N. Les efforts fournis par les moyens pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile valent quelques  $10^{-6}$  N, le temps de commutation est de quelques milli secondes et la course de la partie magnétique mobile de 200 micromètres.

On s'aperçoit, dans ce cas particulier, qu'il faut que la relation suivante soit vérifiée pour obtenir la position magnétique stable:

Gapz + h supérieur à D.sep avec h hauteur des aimants fixes et mobile et D compris entre 1 et 1,5.

Les figures 9C, 9D montrent des variations de la force  $F_x$  en fonction de x lorsque l'actionneur possède la position magnétique stable recherchée et lorsqu'il ne la possède pas.

La position magnétique stable a été obtenue avec:

gapz = 7 micromètres  
sep = 5 micromètres.

Une position instable a été obtenue avec :

gapz = 7 micromètres

sep = 10 micromètres.

On va maintenant décrire un exemple de  
5 procédé de réalisation, en microtechnologie, d'un  
actionneur selon l'invention. La partie magnétique fixe  
5 de l'actionneur comporte deux paires d'aimants (51,  
52), (53, 54), l'une solidaire du premier support 1 et  
l'autre solidaire du second support 2. La partie  
10 magnétique mobile 4 de l'actionneur comporte un aimant  
40 solidaire d'une face d'une base 41, cette base 41  
porte sur son autre face un miroir 50. Les moyens 6  
pour déclencher le déplacement de la partie magnétique  
mobile 4 sont réalisés par deux paires de conducteurs  
15 (61, 62), (63, 64), chaque paire étant solidaire d'un  
des supports 1, 2. Sur les figures on ne voit qu'un  
seul actionneur, mais l'avantage de ce procédé est de  
pouvoir en réaliser plusieurs en même temps, ils  
partagent tous au moins un support en commun.

20 On part d'un premier substrat 90  
amagnétique, par exemple en matériau semi-conducteur  
tel que le silicium ou l'arséniure de gallium (figure  
10A). Ce premier substrat 90 après traitement va  
conduire au premier support 1 amagnétique, celui du  
25 haut. On dépose sur le silicium une couche  
sacrificielle 91 par exemple en titane. Cette couche  
sacrificielle 91 va servir à délimiter la base 41 de la  
partie magnétique mobile 40. On la grave pour ne  
laisser qu'un cadre 910 suivant le périmètre de la base  
30 (figure 10B). Ce cadre 910 est appelé par la suite  
cadre sacrificiel.

On dépose sur le premier substrat 90, au-dessus du cadre sacrificiel 910, une première couche diélectrique 92 par exemple en oxyde de silicium qui va servir à la réalisation de l'une des paires d'aimants 51, 52 de la partie magnétique fixe 5 (figure 10C). Cette première couche diélectrique 92 est ensuite planarisée.

On délimite la géométrie de la paire d'aimants 51, 52 par photolithographie. On utilise pour cela une résine (non référencée). On grave dans la première couche diélectrique 92 des caissons 93 pour la paire d'aimants 51, 52 (figure 10D). Les caissons sont situés de part et d'autre du cadre sacrificiel 910. La gravure peut être une gravure sèche. La gravure s'arrête sur le premier substrat 90. On ôte la résine. On dépose les aimants 51, 52 dans les caissons 93 (figure 10E). Ce dépôt peut se faire par voie électrolytique. Le matériau employé peut être du cobalt-platine. On effectue une étape de planarisation des aimants fixes.

On dépose ensuite sur la première couche diélectrique 92 une seconde couche diélectrique 94 par exemple en oxyde de silicium dans laquelle vont se trouver la paire de conducteurs et l'aimant de la partie magnétique mobile (figure 10F). Après planarisation de cette seconde couche diélectrique 94, on délimite la géométrie des conducteurs et des plots qui les terminent et de l'aimant de la partie magnétique mobile par photolithographie. On utilise pour cela une résine (non représentée). On grave dans la seconde couche diélectrique 94 un caisson 95 pour

l'aimant de la partie magnétique fixe et des caissons 96 pour les conducteurs de la paire (figures 10G1 et 10G2) et des caissons 96.1 pour les plots qui les terminent (figure 10G2). Les caissons 96 pour les conducteurs se trouvent de part et d'autre du caisson 95 pour l'aimant de la partie magnétique mobile. Les caissons 96 pour les conducteurs se trouvent sensiblement au-dessus des aimants 51, 52 de la paire. La gravure peut être une gravure sèche. Les caissons 96.1 pour les plots sont de part et d'autre des caissons 96 pour les conducteurs.

On dépose dans le caisson 95 approprié l'aimant 40 de la partie magnétique mobile. On termine par une étape de planarisation de l'aimant 40 (figure 10H1 et figure 10H2).

On dépose dans les caissons 96 appropriés les conducteurs 61, 62 et dans les caissons 96.1 les plots 62.1, 62.2. On termine par une étape de planarisation des conducteurs 61, 62 et des plots 61.1, 62.1. Ce dépôt peut se faire par voie électrolytique avec du cuivre (figure 10I1 et figure 10I2).

On grave une ou plusieurs tranchées 97 dans les deux couches diélectriques 92, 94 jusqu'à atteindre le cadre sacrificiel 910. Ces tranchées délimitent les flancs de la base de l'aimant mobile 40 (figure 10I1 et figure 10I2). Cette gravure peut être une attaque chimique. Ces tranchées 97 peuvent configurer les flancs de la base avec les reliefs des moyens de centrage.

On part d'un second substrat 100 amagnétique, en matériau semi-conducteur, tel que le

silicium, recouvert d'une première couche diélectrique 101, par exemple en oxyde de silicium. Ce second substrat 100 après traitement va conduire au second support 2 amagnétique celui du bas. On peut utiliser  
5 par exemple un substrat en silicium massif que l'on oxyde ou utiliser directement un substrat SOI.

Dans la première couche diélectrique 101, on grave des caissons 102 devant accueillir l'autre paire d'aimants de la partie magnétique fixe (figure  
10 11A). La gravure s'arrête sur le second substrat 100. On dépose la seconde paire d'aimants 53, 54 de la même manière que la première paire. On termine par une étape de planarisation des aimants (figure 11B).

On dépose ensuite une seconde couche  
15 diélectrique 103, par exemple en oxyde de silicium, sur la première couche 101, cette seconde couche diélectrique 103 devant accueillir les conducteurs de la seconde paire de conducteurs. On grave, dans cette seconde couche diélectrique 103, des caissons 104 pour  
20 les conducteurs de la seconde paire de conducteurs (figure 11C1) et des caissons 104.1 pour des plots terminant les conducteurs (figure 11C2). On dépose les conducteurs 63, 64 dans les caissons 104 de la même manière que pour le premier substrat (figure 11D1). On  
25 dépose également les plots 63.1, 64.1 (figure 11D2). On termine par une étape de planarisation des conducteurs 63, 64 et des plots 63.1, 64.1 (figure 11D1 et figure 11D2).

On peut assembler ensuite le premier  
30 substrat 90, tel qu'obtenu à la figure 10I1, en le retournant, au second substrat 100 tel qu'obtenu à la

figure 11D1, en intercalant entre les deux des entretroises 110 diélectriques qui contribuent à délimiter un espace 3 dans lequel la partie magnétique mobile va pouvoir se déplacer (figure 12A1). Lors de cet assemblage qui se fait par collage, les couches diélectriques 92, 94 et 101, 103 se font face alors que les substrats semi-conducteurs 90, 100 sont opposés. On s'arrange pour que les aimants 51, 52 et 53, 54 des deux paires soient alignés deux à deux et pour que les conducteurs 61, 62 et 63, 64 des deux paires soient alignés deux à deux.

De la même manière on peut assembler le premier substrat 90 tel qu'obtenu à la figure 10I2, en le retournant, au second substrat 100 tel qu'obtenu à la figure 11D2, en intercalant entre les deux des billes 112 en matériau fusible. Ces billes fusibles 112 sont ensuite recuites. Elles contribuent à délimiter l'espace 3 dans lequel la partie magnétique mobile va pouvoir se mouvoir (figure 12A2). Elles permettent aussi d'établir un contact électrique entre les conducteurs 62, 61 du substrat 90 et les conducteurs 63, 64 du substrat 100 via les plots 62.1, 61.1 et 63.1, 64.1. Comme précédemment on s'arrange pour que les aimants des deux paires soient alignés deux à deux, les conducteurs des deux paires et les plots étant également alignés deux à deux.

Ce premier substrat 90 semi-conducteur permet de réaliser le miroir 50. Son épaisseur, qui peut être ajustée, va correspondre à la hauteur du miroir 50. On réalise une gravure d'une ou plusieurs tranchées 111 dans le premier substrat 90 semi-

conducteur pour délimiter les flancs du miroir 50 et former la fente dans laquelle il se glissera lorsque la partie magnétique mobile sera plaquée contre le premier support. Cette gravure s'arrête sur la première couche  
5 diélectrique 92. On élimine ensuite par gravure le cadre sacrificiel 910, ce qui conduit à libérer la base 41 de l'aimant mobile 40 et du miroir 50 (figures 12B1 et 12B2). De part et d'autre du miroir, on réalise un amincissement du premier substrat pour que le miroir en  
10 position haute dépasse au-dessus du substrat qui l'entoure et qu'il soit caché en position basse. L'aimant 40 et sa base 41 sont aptes à se déplacer dans l'espace 3.

On s'est assuré au préalable que les  
15 aimants 40, 51 à 54 sont aimantés convenablement car sinon on n'obtiendrait pas d'interaction appropriée entre l'aimant mobile 40 et les paires d'aimants 51, 52 et 53, 54 de la partie magnétique fixe 5. S'il faut intervenir, l'aimantation peut se faire en faisant  
20 circuler un courant dans les conducteurs 61 à 64.

Dans le cas où la partie magnétique fixe 5 et les moyens 6 pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile sont portés par le premier support 1 seul, on réalise les étapes des figures 10  
25 sur le premier substrat mais pas les étapes de figures 11. On se borne à assembler au premier substrat, tel qu'obtenu à la figure 10I, un second substrat amagnétique diélectrique 120 par exemple en oxyde de silicium, en insérant entre les deux les entretoises  
30 110 (figure 13A). On pourrait insérer des billes conductrices mais ce n'est pas représenté pour ne pas



multiplier le nombre de figures. On réaliserait le miroir 50 et la libération de la partie magnétique mobile 4 comme décrit précédemment aux figures 12B1 et 12B2 (figure 13B).

5 On pourrait envisager aisément la fabrication de tels actionneurs, en microtechnologie avec un procédé similaire, en partant de substrats diélectriques en verre, céramique ou matière plastique par exemple.

10 L'actionneur magnétique selon l'invention, s'il occupe un volume supérieur à environ un centimètre cube, risque d'être sensible à l'environnement extérieur tel que les vibrations ou les chocs. Ses performances risquent de ne pas être optimales dans de  
15 tels environnements perturbés. En revanche, contre toute attente, avec des dimensions plus faibles, ses performances sont grandement améliorées quel que soit l'environnement. L'interaction entre la partie magnétique mobile et la partie magnétique fixe est  
20 favorable et n'apporte pas de dégradation des performances comme dans le cas d'un actionneur plus volumineux.

Les caractéristiques principales d'un actionneur selon l'invention sont de posséder une  
25 vitesse de déplacement relativement élevée, une capacité à exercer des forces massiques importantes et des déplacements importants relativement à sa taille. La partie magnétique mobile en position magnétique stable en butée contre l'un des substrats résiste aux  
30 chocs. L'actionneur consomme très peu d'énergie et seulement au cours des déplacements de la partie

magnétique mobile et pas en position magnétique stable lorsque la partie magnétique mobile est en butée contre l'un des substrats.

Le fait que le déplacement de la partie  
5 magnétique mobile se fasse sensiblement  
perpendiculairement aux supports est très intéressant  
dans les applications matricielles. La surface de  
telles matrices peut être relativement faible comparée  
au nombre de parties mobiles. C'est aussi intéressant  
10 dans toutes les applications avec du fluide.

Bien que plusieurs modes de réalisation de  
la présente inventions aient été représentés et décrits  
de façon détaillée, on comprendra que différents  
changements et modifications puissent être apportés  
15 sans sortir du cadre de l'invention. L'aimantation de  
la partie magnétique fixe et celle de la partie  
magnétique mobile ont été représentées de même  
direction. Il est possible que cela ne soit pas le cas.  
Cette direction suit les grands côtés des aimants qui  
20 sont en parallélépipède rectangle.

## REVENDEICATIONS

1. Actionneur magnétique comportant une  
partie magnétique mobile (4), une partie magnétique  
5 fixe (5) et des moyens (6) pour déclencher le  
déplacement de la partie magnétique mobile (4) par  
rapport à la partie magnétique fixe (5), caractérisé en  
ce qu'il comporte au moins deux supports (1, 2)  
amagnétiques, placés dans des plans différents,  
10 délimitant entre eux un espace (3), la partie  
magnétique fixe (5) étant solidaire d'au moins un des  
supports (1, 2), les supports (1, 2) présentant chacun  
une zone de butée (10, 20) pour la partie magnétique  
mobile (4), la zone de butée (10, 20) et la partie  
15 magnétique fixe (5) étant distinctes, la partie  
magnétique mobile (4) étant en lévitation dans l'espace  
(3) entre les deux supports (1,2) grâce à un guidage  
magnétique dû à la partie magnétique fixe (4),  
lorsqu'elle n'est pas en butée contre la zone de butée  
20 (10, 20) de l'un des supports (1, 2), et en ce que la  
partie magnétique mobile (4) est susceptible de prendre  
plusieurs positions magnétiques stables, dans chacune  
de ces positions, elle est en butée contre un support  
(1,2).

25

2. Actionneur magnétique selon la  
revendication 1, caractérisé en ce que la partie  
magnétique mobile (4) comporte un aimant (40).

30

3. Actionneur magnétique selon l'une des  
revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que la partie

magnétique fixe (5) comporte au moins une pièce magnétique (51, 52, 53, 54).

4. Actionneur magnétique selon la  
5 revendication 3, caractérisé en ce que la pièce magnétique est un aimant.

5. Actionneur magnétique selon la  
revendication 3, caractérisé en ce que la pièce  
10 magnétique est thermomagnétique.

6. Actionneur magnétique selon l'une des  
revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la partie  
magnétique fixe comporte au moins une paire de pièces  
15 magnétiques ((51,52), (53,54)) sur un support (1, 2).

7. Actionneur magnétique selon l'une des  
revendications 1 à 6, caractérisé en ce que la partie  
magnétique mobile (4) et au moins un des supports (1,  
20 2) comportent des moyens de centrage (8) pour centrer  
la partie magnétique mobile (4) sur la zone de butée  
(10, 20) dudit support.

8. Actionneur magnétique selon la  
25 revendication 7, caractérisé en ce que les moyens de  
centrage (8) sont des reliefs (80, 81) sensiblement en  
forme de biseau, portés à la fois par le support (1, 2)  
et la partie magnétique mobile (4), ces reliefs (80,  
81) ayant des formes conjuguées.

9. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la partie magnétique fixe (5) contribue à délimiter au moins une des zones de butée (10).

5

10. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que les moyens (6) pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile (4) sont portés par au moins un des supports (1, 2).

10

11. Actionneur magnétique selon la revendication 10, caractérisé en ce que les moyens (6) pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile (4) ont un effet magnétique.

15

12. Actionneur selon la revendication 11, caractérisé en ce que les moyens (6) pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile sont des moyens de chauffage (R) aptes à modifier les caractéristiques magnétiques de la partie magnétique fixe (5).

20

13. Actionneur magnétique selon la revendication 12, caractérisé en ce que les moyens (6) pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile (4) créent un champ magnétique au voisinage de la partie magnétique mobile (4).

25

14. Actionneur magnétique selon la revendication 13, caractérisé en ce que les moyens (6)

30

pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile (4) sont réalisés par au moins un conducteur (61, 62, 63, 64), au voisinage de la partie magnétique mobile (4), ce conducteur étant apte à être parcouru  
5 par un courant électrique.

15. Actionneur selon la revendication 14, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens (65, 66, 67) pour asservir le courant à faire circuler dans le  
10 conducteur (61, 62, 63, 64) à la position de la partie magnétique mobile (4) de manière à ce qu'elle puisse prendre une pluralité de positions stables en lévitation.

15 16. Actionneur selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que les moyens (6) pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile sont des moyens pneumatiques ou hydrauliques (f).

20

17. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que la partie magnétique fixe (5) est réalisée dans un matériau choisi dans le groupe des matériaux magnétiques doux,  
25 des matériaux magnétiques durs, des matériaux à hystérésis, des matériaux supra conducteurs, des matériaux diamagnétiques, ces matériaux étant pris seuls ou en combinaison.

30 18. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 17, caractérisé en ce que

l'aimantation de la partie magnétique fixe (5) et celle de la partie magnétique mobile (4) sont dirigées dans une même direction.

5                    19. Actionneur magnétique selon l'une des revendications 1 à 18, caractérisé en ce qu'au moins une zone de butée (10) comporte une paire de contacts (C1, C2) électriques et en ce que la partie magnétique mobile (4) comporte au moins un contact électrique (C),  
10 la partie magnétique mobile (4) venant relier les deux contacts électriques (C1, C2) de la paire de contacts lorsqu'elle est en butée contre la zone de butée (10).

                  20. Actionneur magnétique selon l'une des  
15 revendications 1 à 18, caractérisé en ce que l'un au moins des supports (1, 2) comporte dans la zone de butée (10), un orifice (7) d'admission de fluide (f).

                  21. Actionneur magnétique selon l'une des  
20 revendications 1 à 18, caractérisé en ce que la partie magnétique mobile (4) comporte un miroir (50) destiné à passer à travers une fente (501) de l'un des supports (1).

                  22. Actionneur magnétique selon l'une des  
25 revendications 1 à 21, caractérisé en ce que les supports (1, 2) sont réalisés à base de matériau semi-conducteur, de matériau diélectrique ou de matériau conducteur, ces matériaux étant pris seuls ou en combinaison.

23. Matrice d'actionneurs magnétiques caractérisée en ce qu'elle comporte une pluralité d'actionneurs magnétiques selon l'une des revendications 1 à 22, ces actionneurs magnétiques  
5 partageant au moins un même support (1).

24. Procédé de réalisation d'un actionneur magnétique, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

10 sur un premier substrat (90) amagnétique réalisation d'un cadre sacrificiel (910) suivant le contour d'une base (41) d'une partie magnétique mobile (4),

dépôt d'une première couche diélectrique  
15 (92) sur le premier substrat (90) et réalisation d'au moins un caisson (93) apte à recevoir une partie magnétique fixe (51, 52),

dépôt dans le caisson (93) de la partie magnétique fixe (51, 52),

20 dépôt d'une seconde couche diélectrique (94) sur la première couche diélectrique (92) et réalisation de caissons (95, 96) aptes à recevoir la partie magnétique mobile (4) et au moins un conducteur (61, 62) de moyens (6) pour déclencher le déplacement  
25 de la partie magnétique mobile (4),

dépôt dans les caissons (95, 96) de la partie magnétique mobile (4) et du conducteur (61, 62),

gravure dans les couches diélectriques (92, 94) d'une ou plusieurs tranchées (97) atteignant le  
30 cadre sacrificiel (910),



assemblage du premier substrat (90)  
retourné sur un second substrat (100, 120) amagnétique  
de façon à délimiter un espace (3) entre les deux  
substrats (90, 100), cet espace (3) étant destiné au  
5 déplacement de la partie magnétique mobile (4),

gravure du premier substrat (90) et retrait  
du cadre sacrificiel (910) pour libérer la partie  
magnétique mobile (4) et la base (41).

10 25. Procédé selon la revendication 24,  
caractérisé en ce que l'espace (3) est formé grâce à au  
moins une entretoise (111) insérée entre le premier et  
le second substrat au moment de l'assemblage.

15 26. Procédé selon la revendication 24,  
caractérisé en ce que l'espace (3) est formé par des  
billes (112) en matériau fusible insérées entre le  
premier et le second substrat au moment de l'assemblage  
et par un recuit desdites billes (112) après  
20 assemblage.

27. Procédé selon l'une des revendications  
24 à 26 caractérisé en ce qu'il comporte, avant  
l'assemblage des deux substrats (90, 100), une étape de  
25 réalisation dans une première couche diélectrique (101)  
sur le second substrat (100) d'au moins un caisson  
(102) apte à recevoir la partie magnétique fixe (53,  
54),

dépôt dans le caisson (102) de la partie  
30 magnétique fixe (53, 54),

dépôt d'une seconde couche diélectrique (103) sur la première couche diélectrique (101) et réalisation d'au moins un caisson (104) apte à recevoir au moins un conducteur (63, 64) des moyens (6) pour  
5 déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile (4),

dépôt dans le caisson (104) du conducteur (63, 64).

10 28. Procédé selon l'une des revendications 24 à 27, caractérisé en ce qu'il comporte une étape d'aimantation de la partie magnétique mobile (4) et éventuellement de la partie magnétique fixe (5) avant l'étape de libération de la partie magnétique mobile  
15 (4).

29. Procédé selon l'une des revendications 24 à 28, caractérisé en ce que le premier substrat (90) est aminci avant l'étape de gravure du premier  
20 substrat, la partie gravée ayant une fonction de miroir (50).

30. Procédé selon l'une des revendications 24 à 29, caractérisé en ce que le premier substrat (90) est réalisé à base de matériau semi-conducteur ou diélectrique.  
25

31. Procédé selon l'une des revendications 24 à 30, caractérisé en ce que le second substrat (100) est réalisé à base de matériau semi-conducteur ou diélectrique.  
30

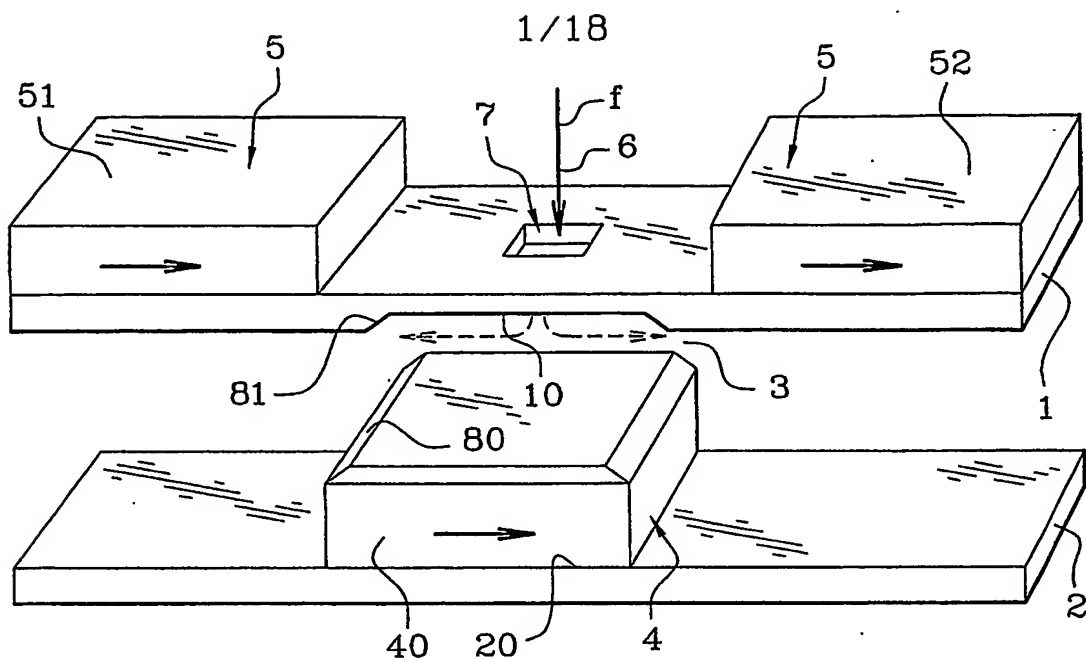
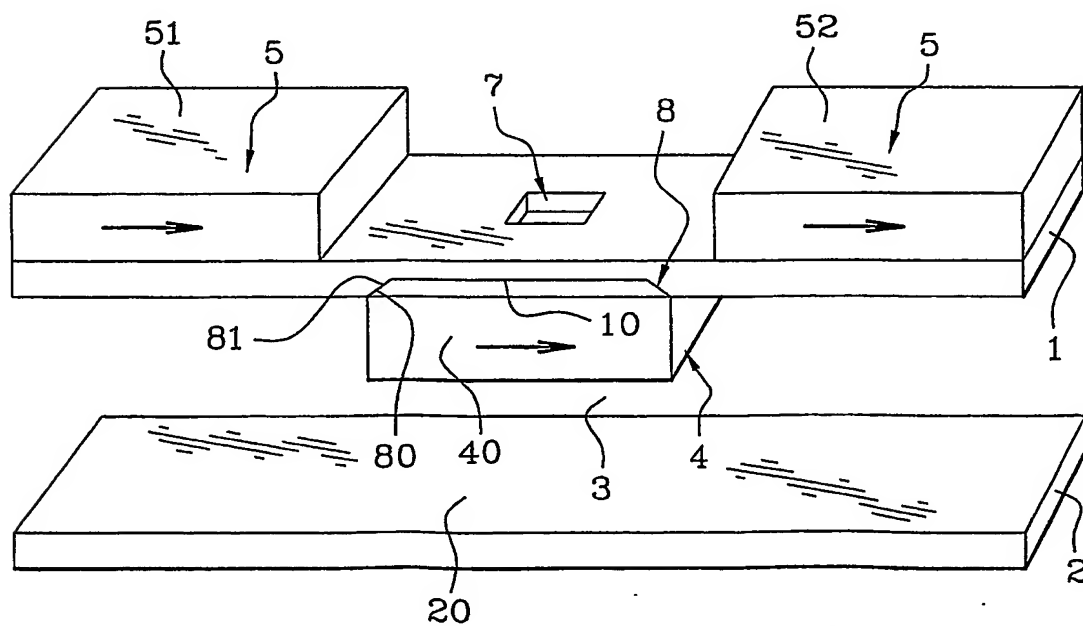


Fig. 1A



2/18

Fig. 2

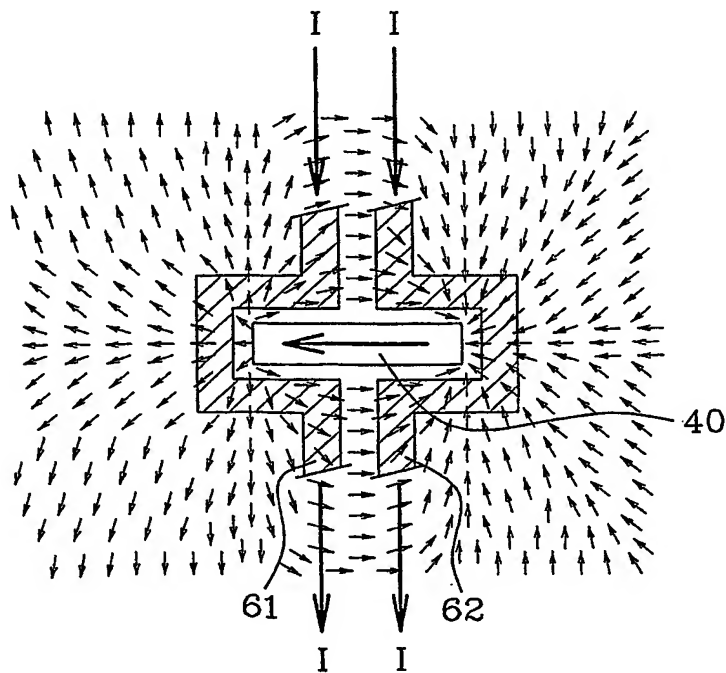
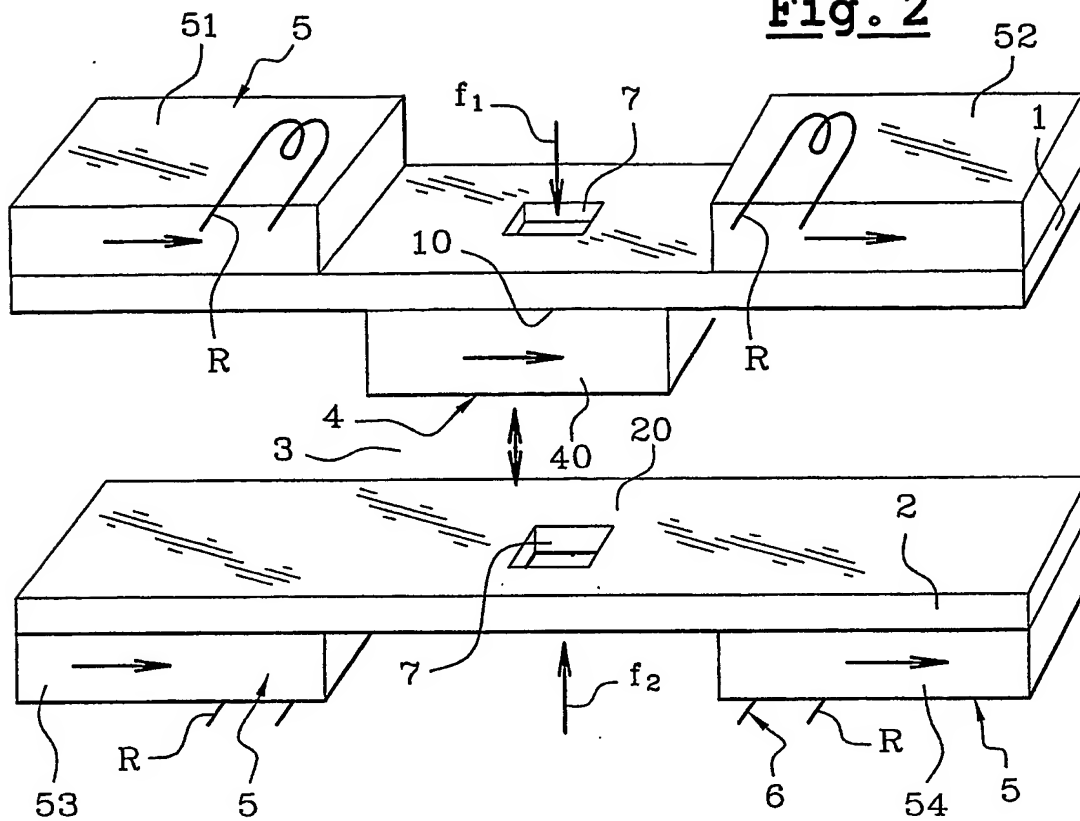
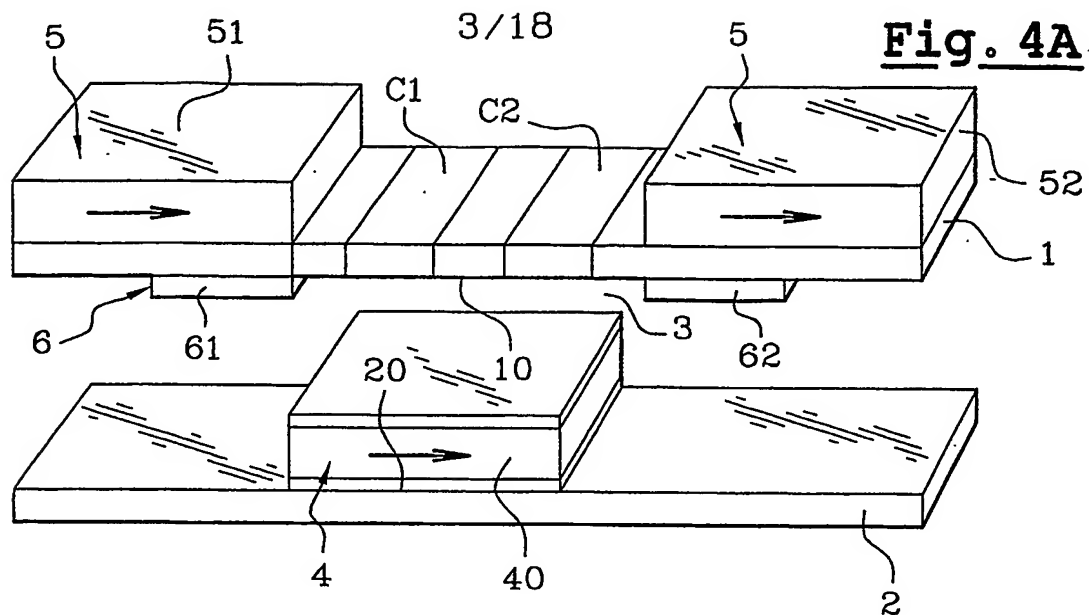
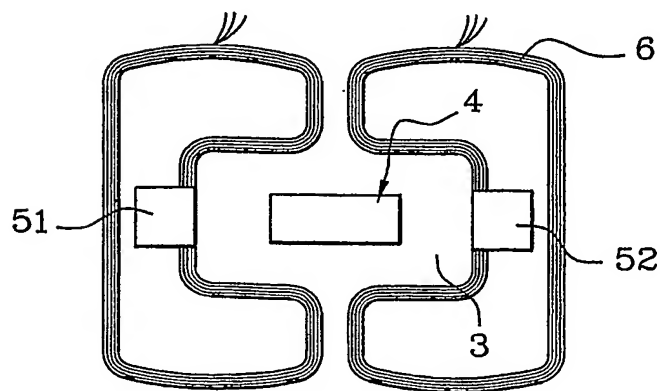
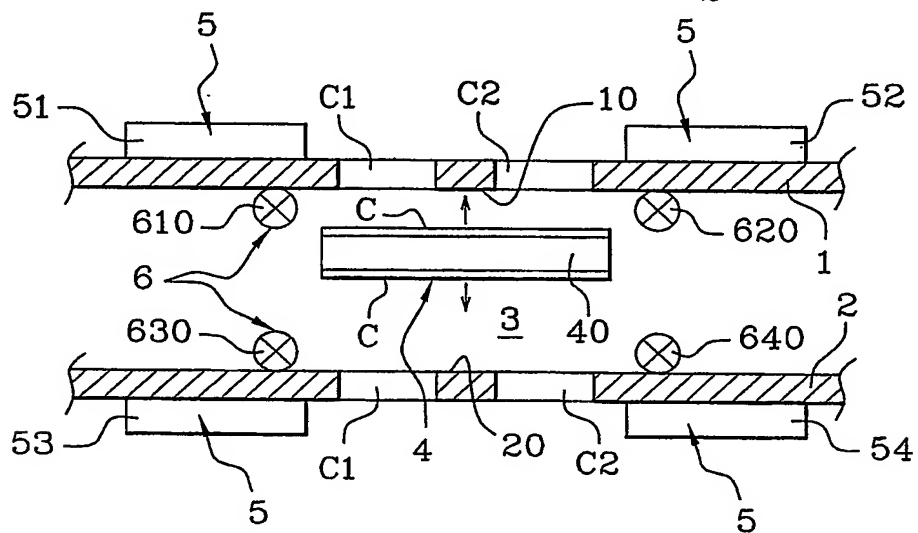


Fig. 3

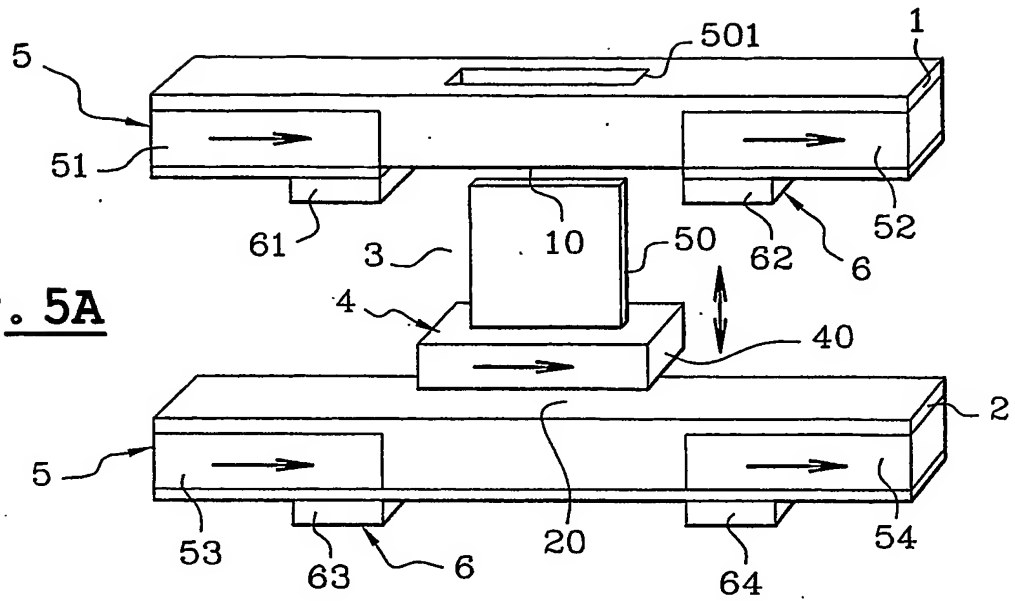
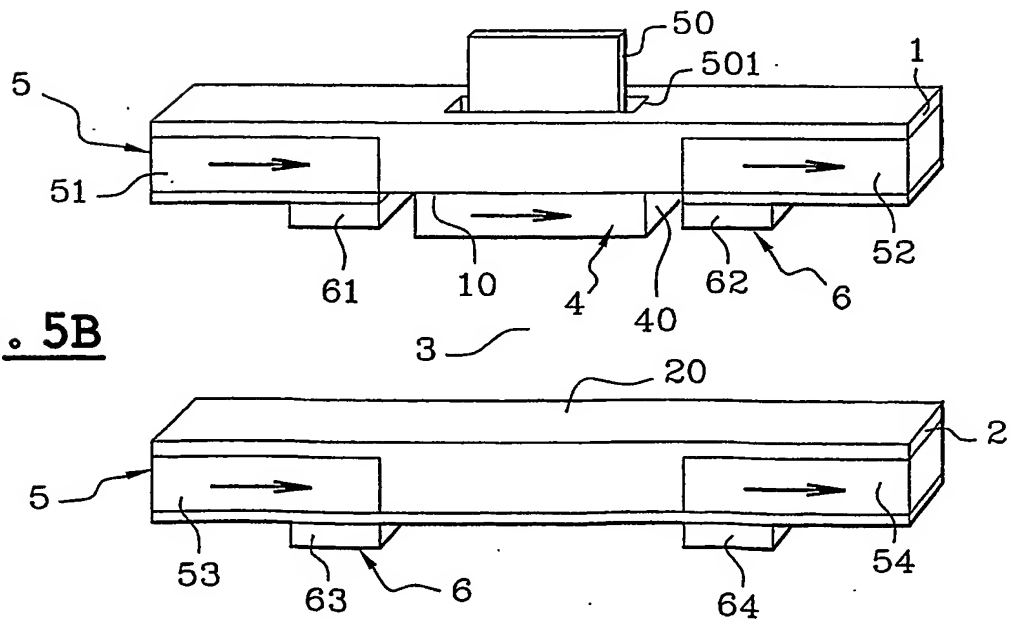


**Fig. 4B**

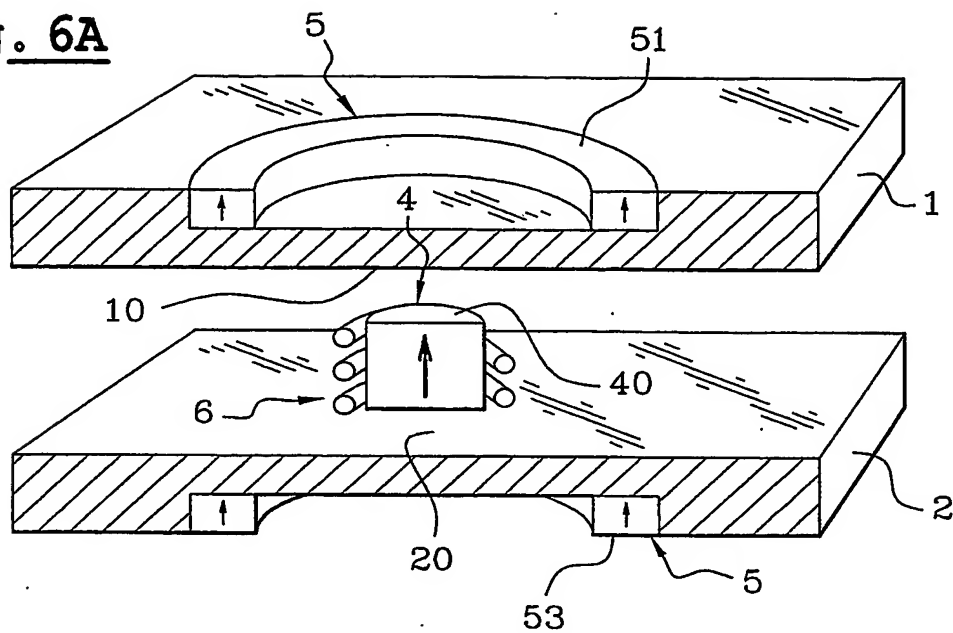
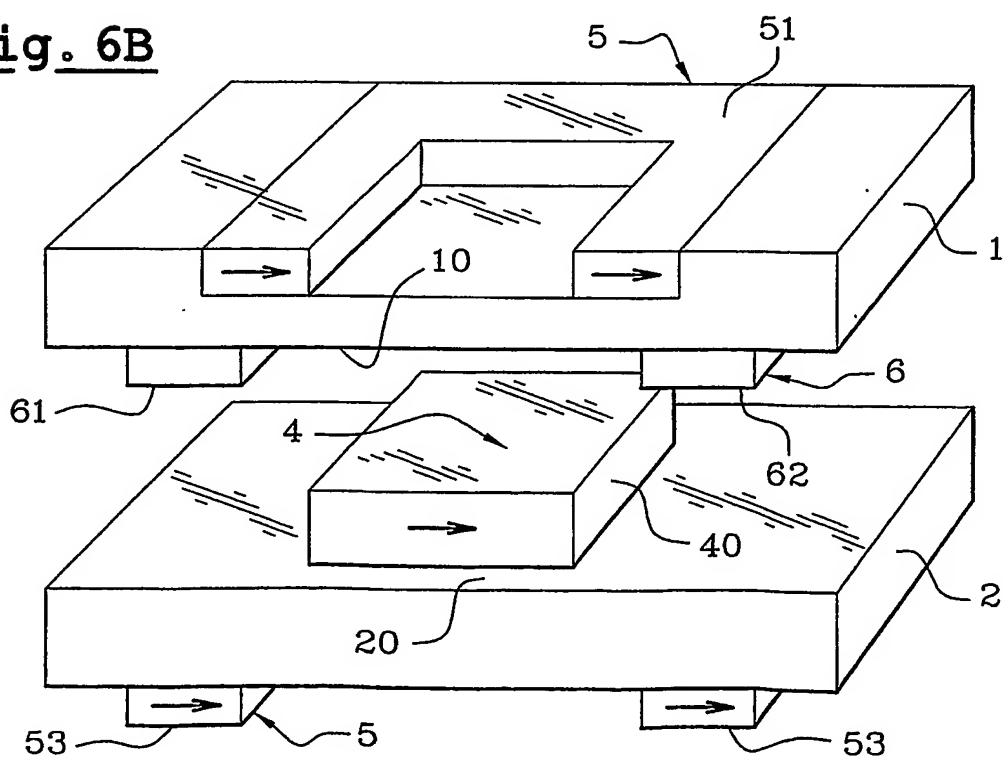


**Fig. 4C**

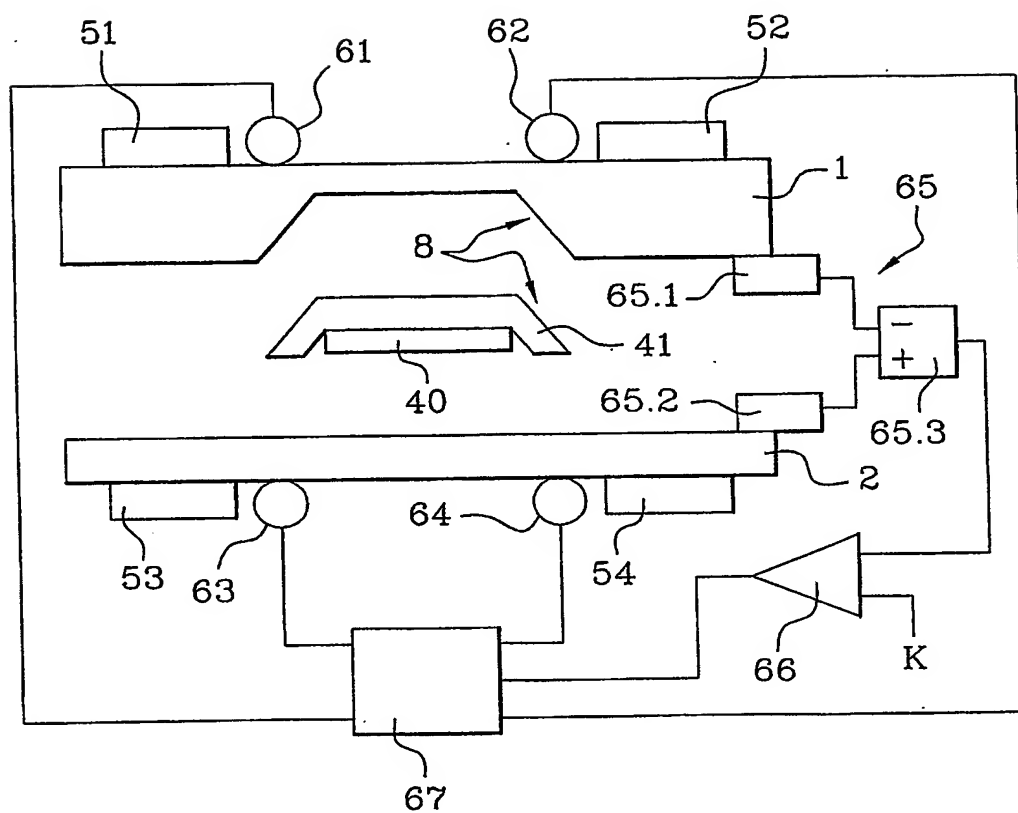
4/18

**Fig. 5A****Fig. 5B**

5/18

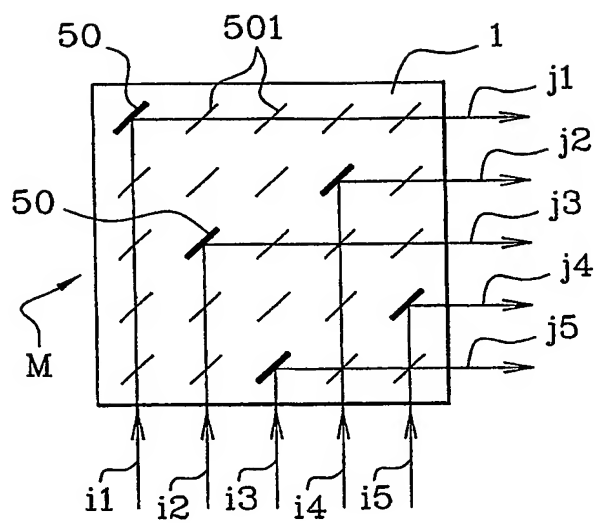
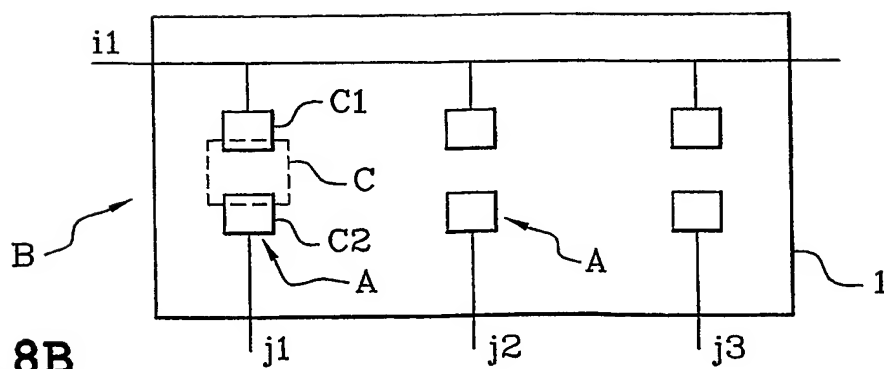
**Fig. 6A****Fig. 6B**

6/18

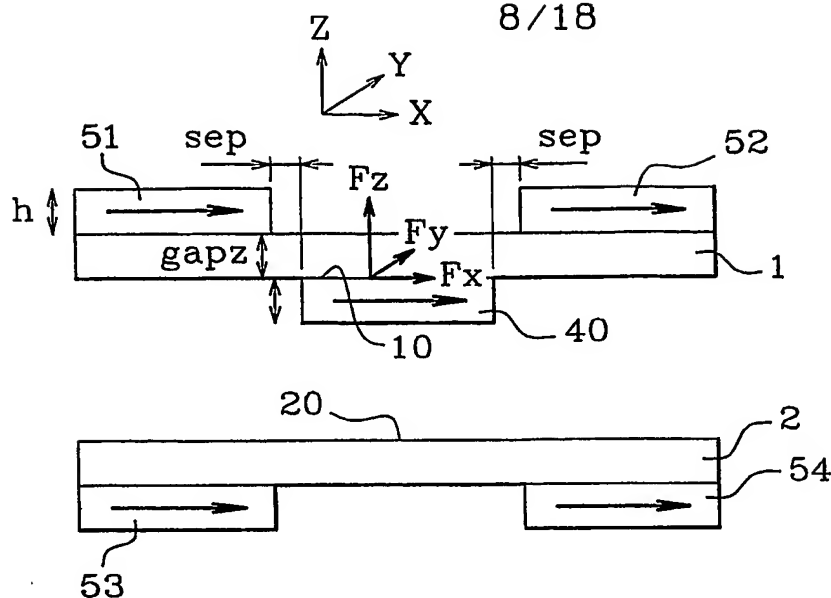
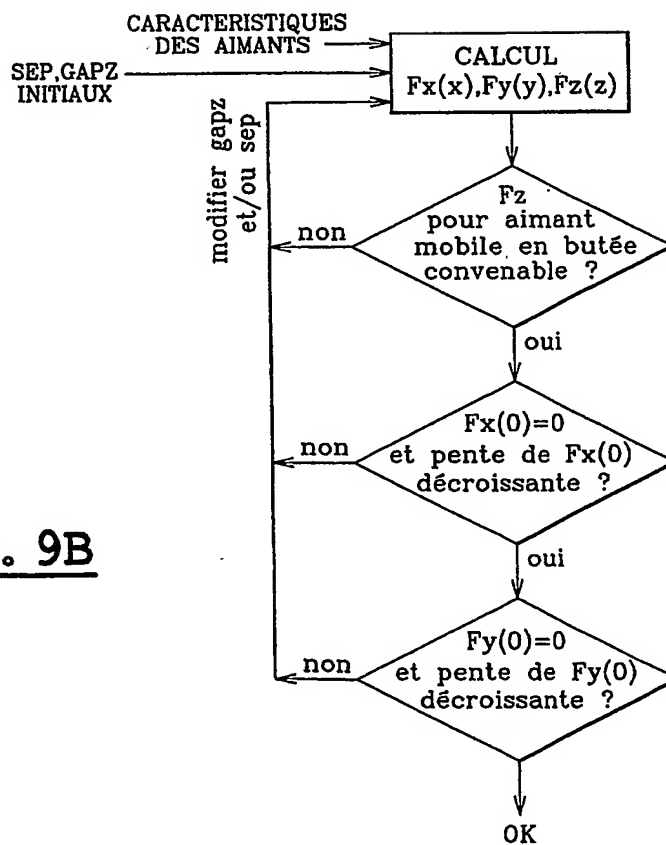
**Fig. 7**



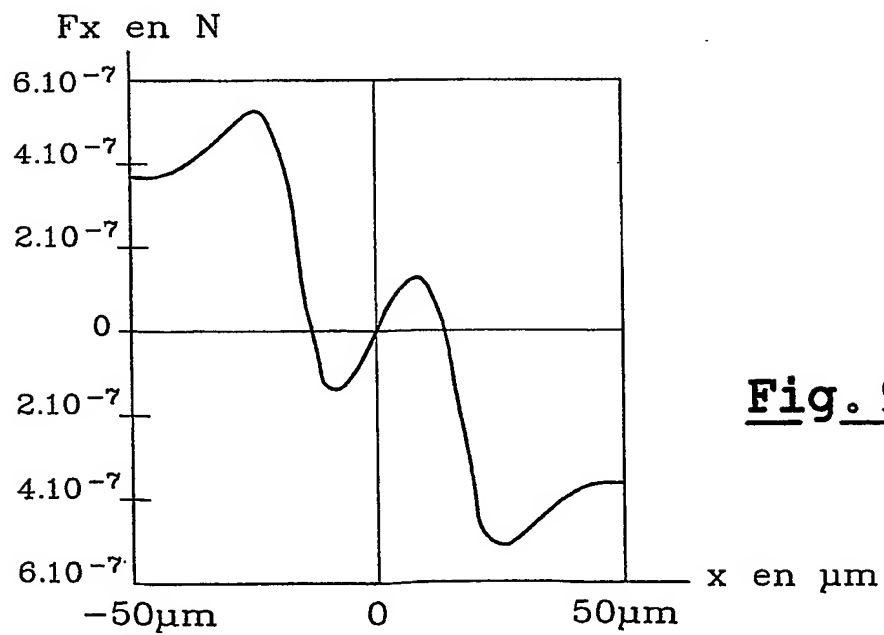
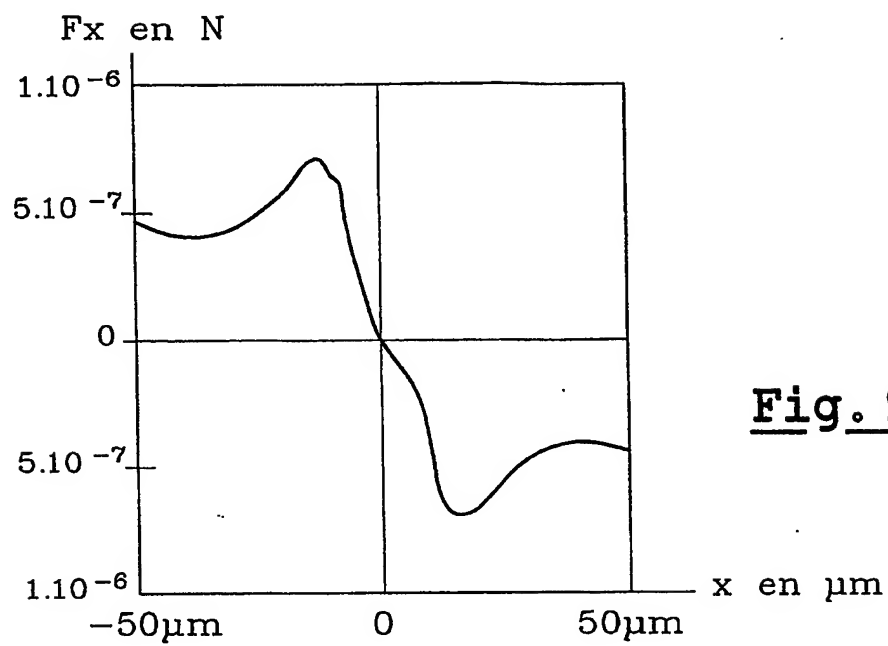
7/18

**Fig. 8A****Fig. 8B**

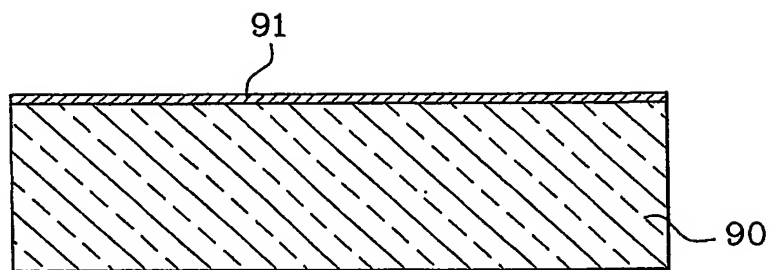
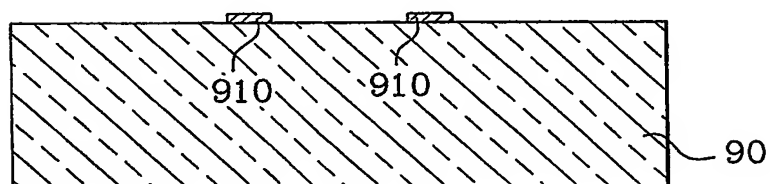
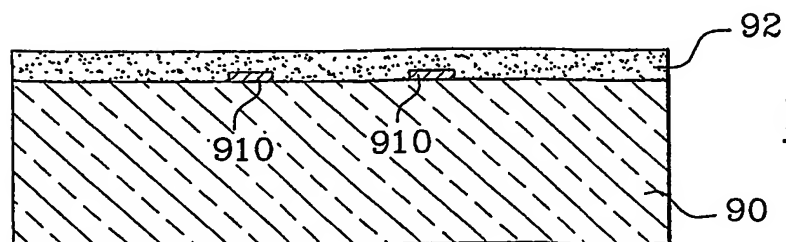
8/18

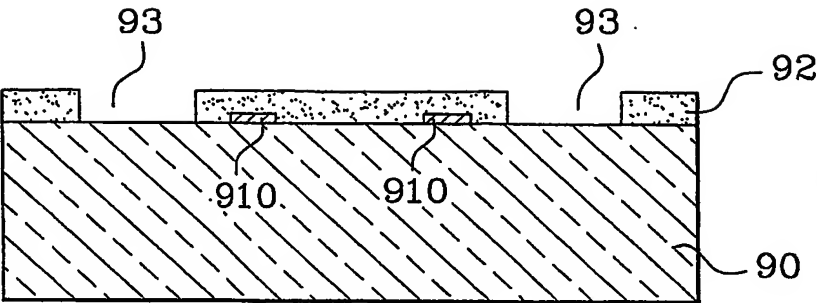
**Fig. 9A****Fig. 9B**

9/18

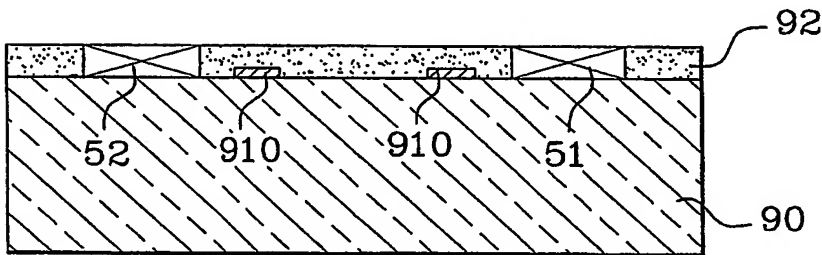


10/18

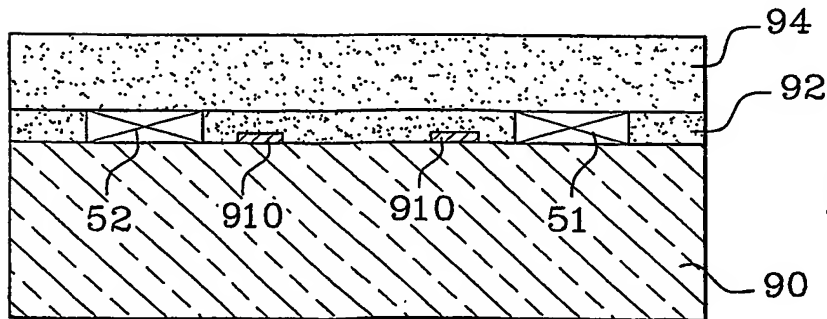
Fig. 10AFig. 10BFig. 10C



**Fig. 10D**

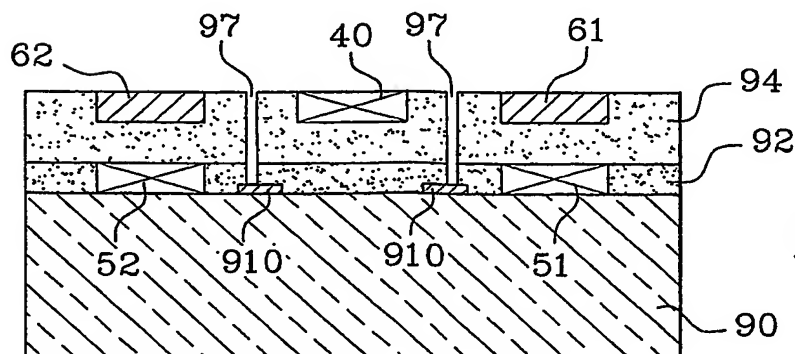
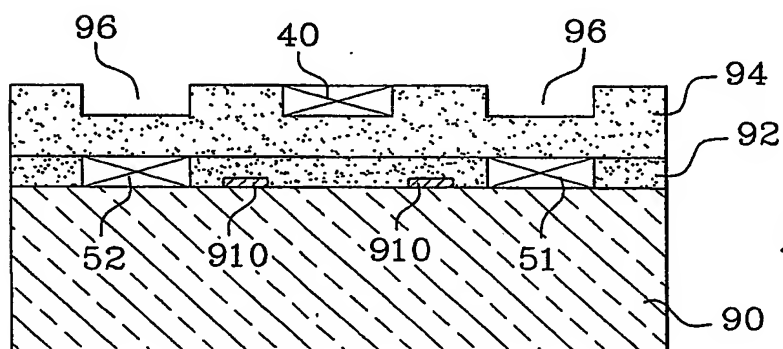
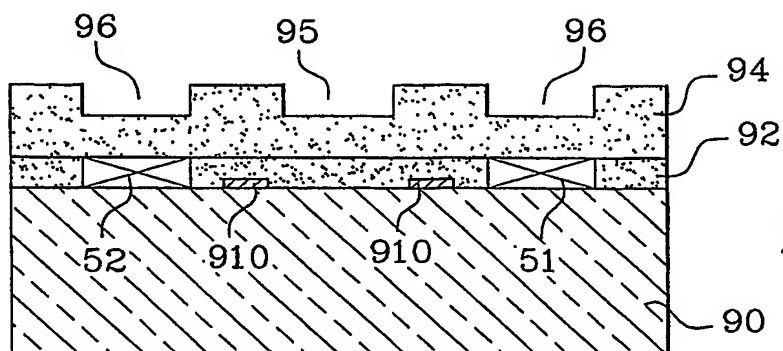


**Fig. 10E**

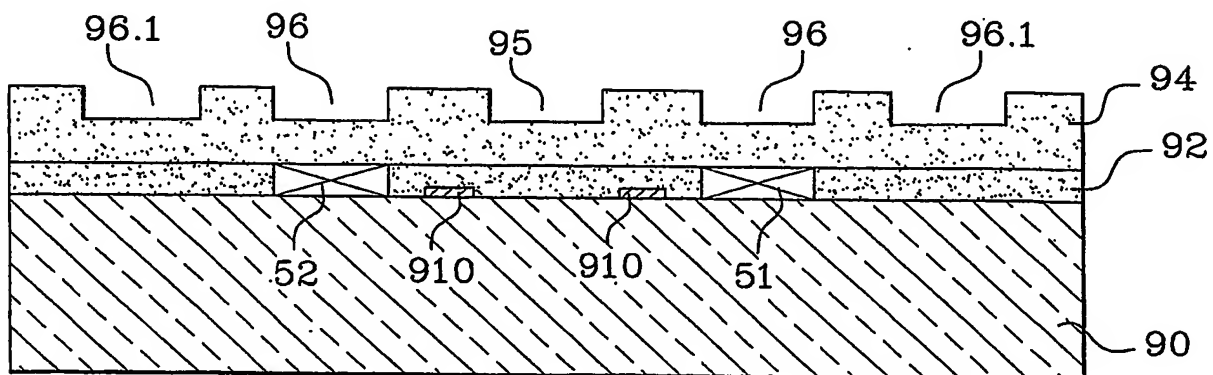


**Fig. 10F**

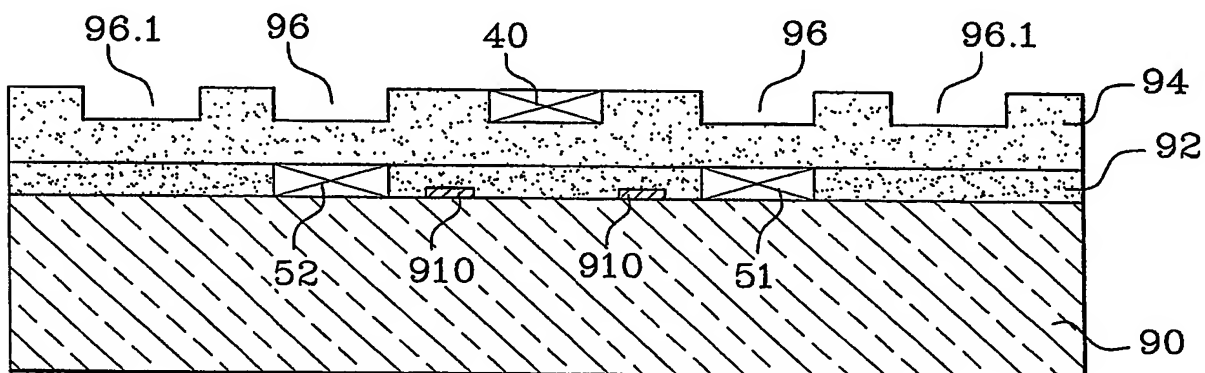
12/18



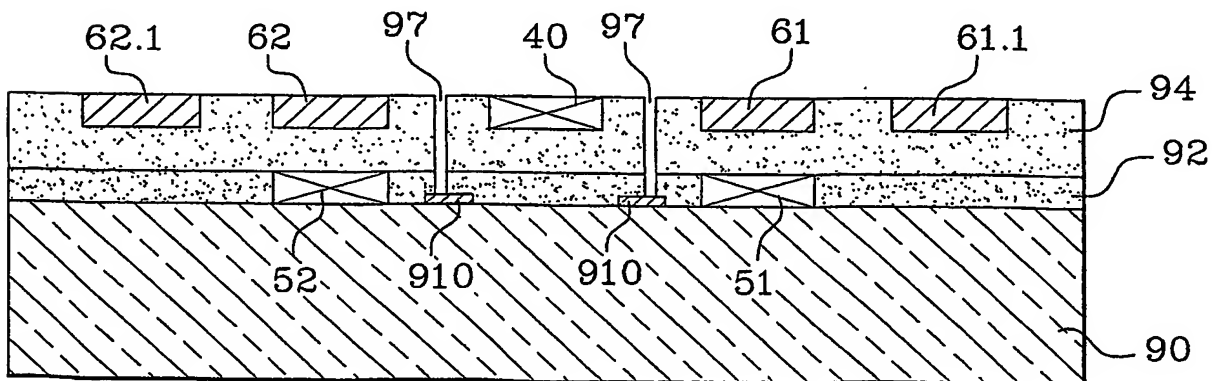
13/18



**Fig. 10G2**

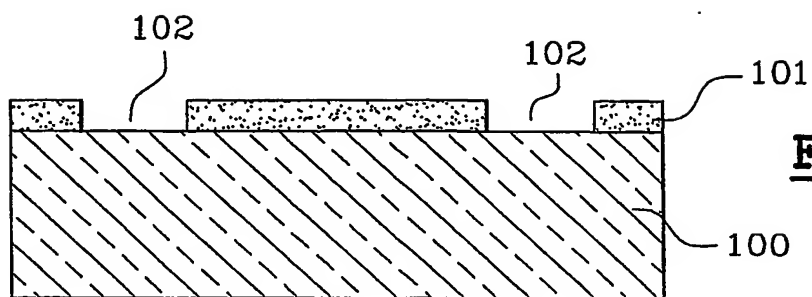
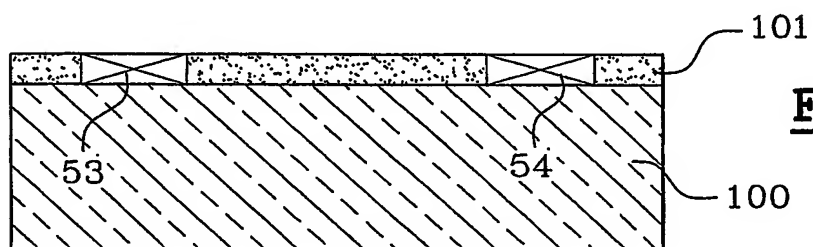
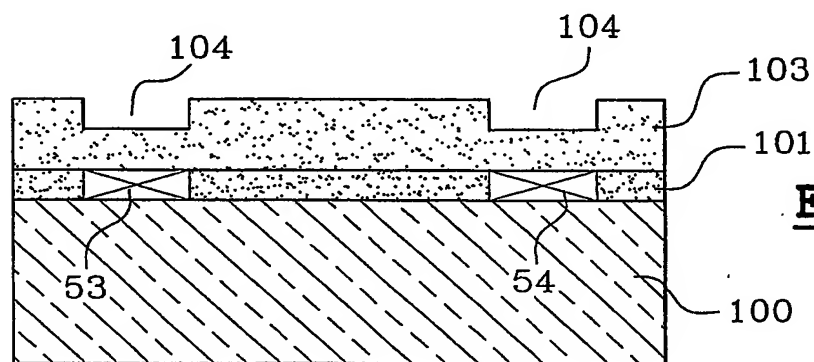
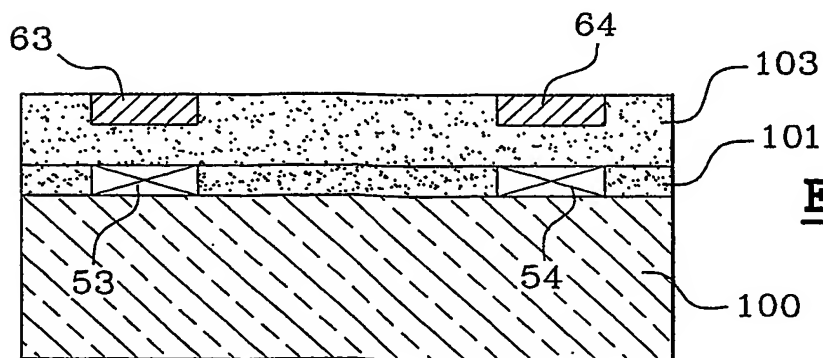


**Fig. 10H2**

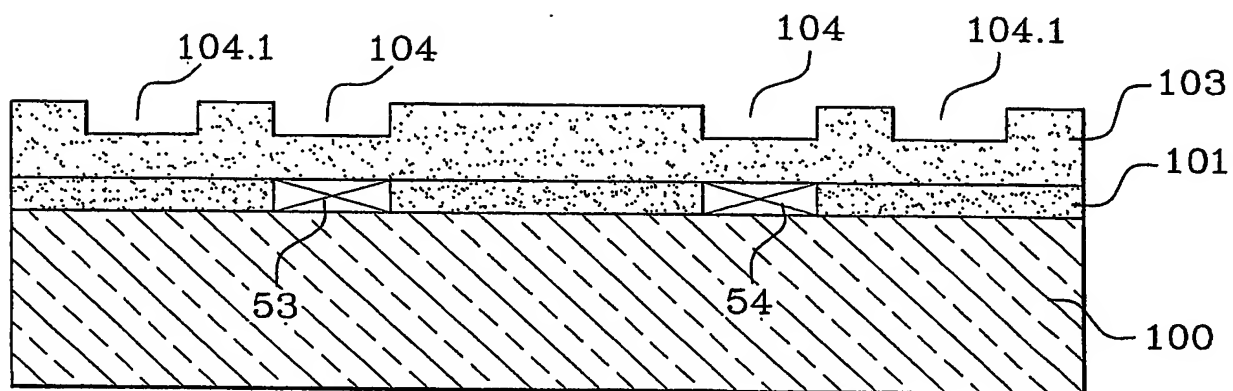
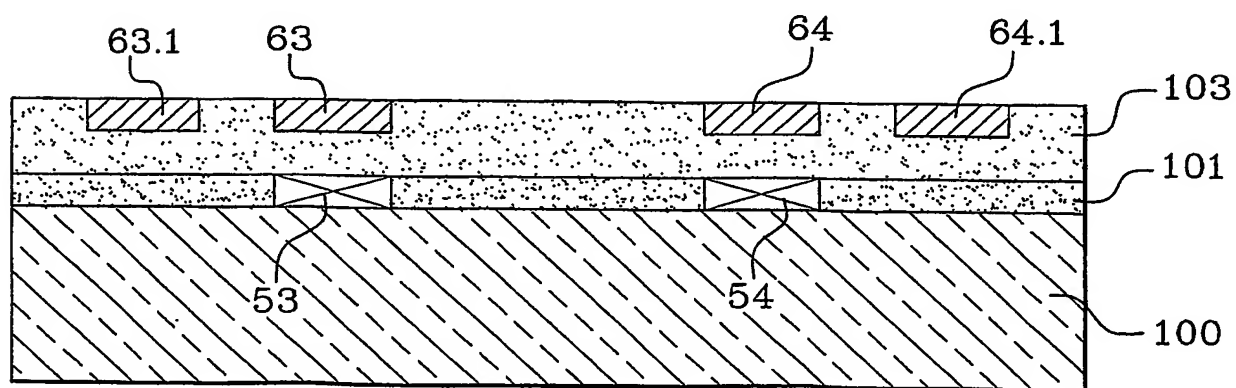


**Fig. 10I2**

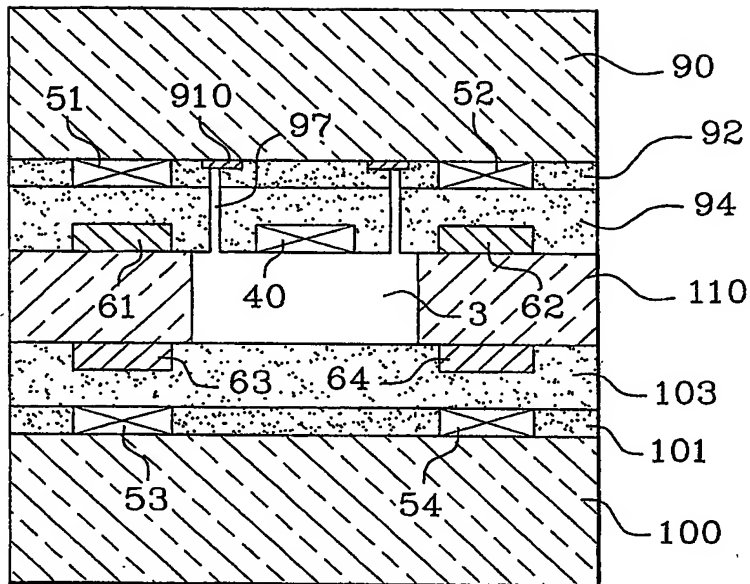
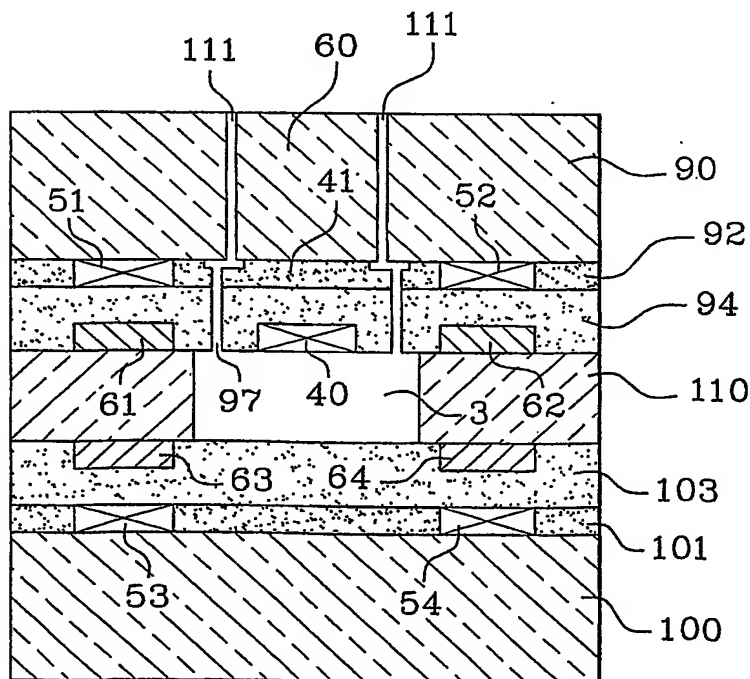
14/18

**Fig. 11A****Fig. 11B****Fig. 11C1****Fig. 11D1**

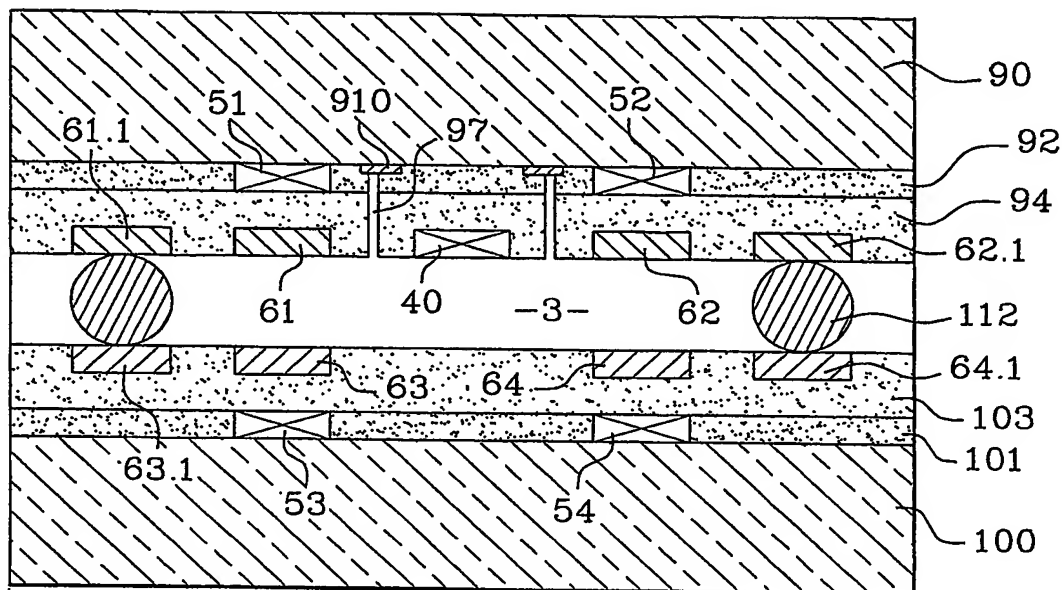
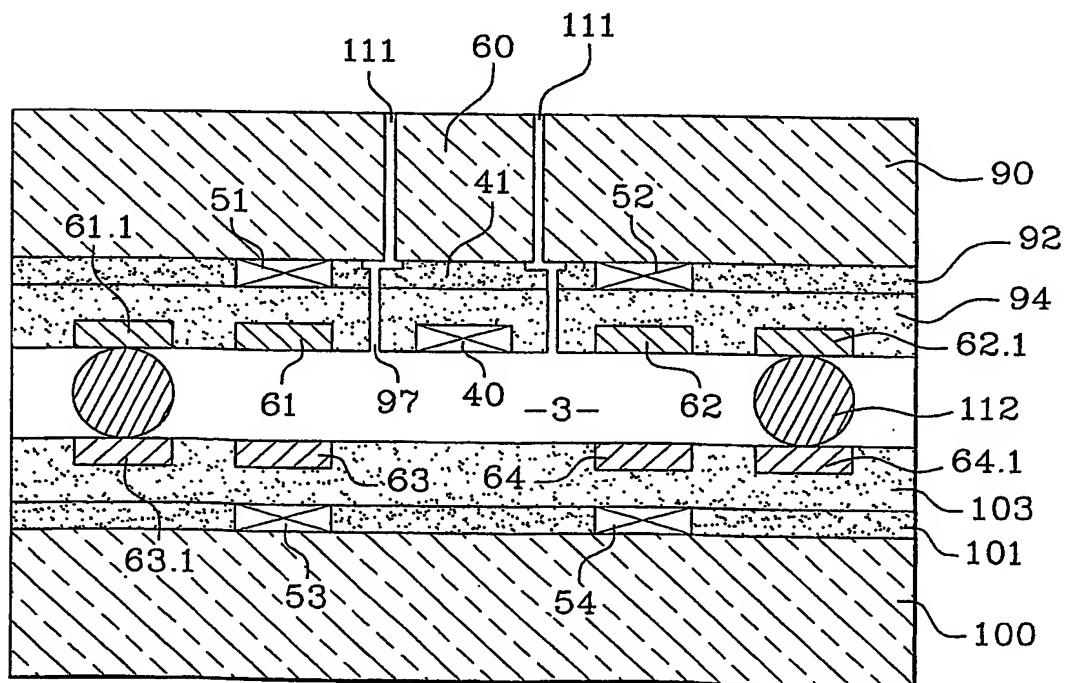


**Fig. 11C2****Fig. 11D2**

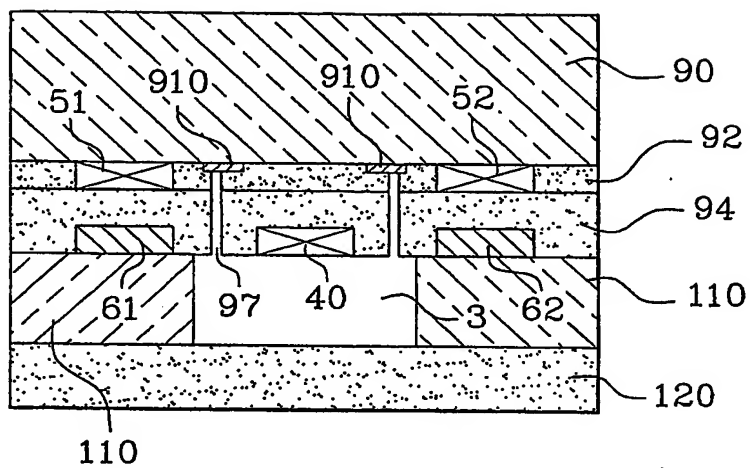
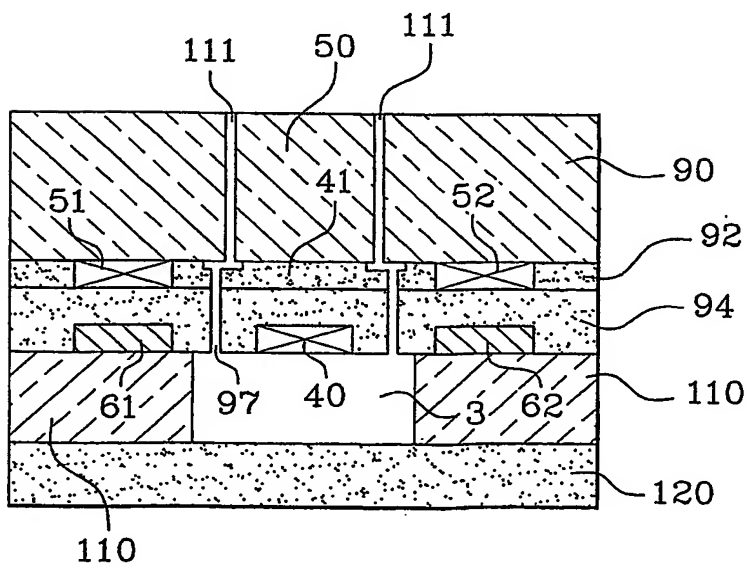
16/18

**Fig. 12A1****Fig. 12B1**

17/18

**Fig. 12A2****Fig. 12B2**

18/18

**Fig. 13A****Fig. 13B**

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
19 février 2004 (19.02.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2004/015725 A3**

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : **H01F 7/16**,  
H01H 50/00, F15C 5/00

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2003/002410

(22) Date de dépôt international : 30 juillet 2003 (30.07.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
02 09882 2 août 2002 (02.08.2002) FR

(71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) : **COM-  
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE** [FR/FR];  
31/33, rue de la Fédération, F-75752 PARIS 15ème (FR).

**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE** [FR/FR]; 3 rue Michel Ange, F-75794 PARIS CEDEX 16 (FR). **INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE** [FR/FR]; 46 avenue Félix Viallet, F-38031 GRENOBLE (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **ROSTANG, Hervé** [FR/FR]; 15, rue des Aiguinards, F-38240 MEYLAN (FR). **DELAMARE, Jérôme** [FR/FR]; 12 rue Ernest Calvat, F-38000 GRENOBLE (FR). **CUGAT, Orphée** [FR/FR]; 1 rue Chamechaude, F-38320 POISAT (FR). **DIEPPEDALE, Christel** [FR/FR]; 646 rue Léo Lagrange, F-38920 CROLLES (FR).

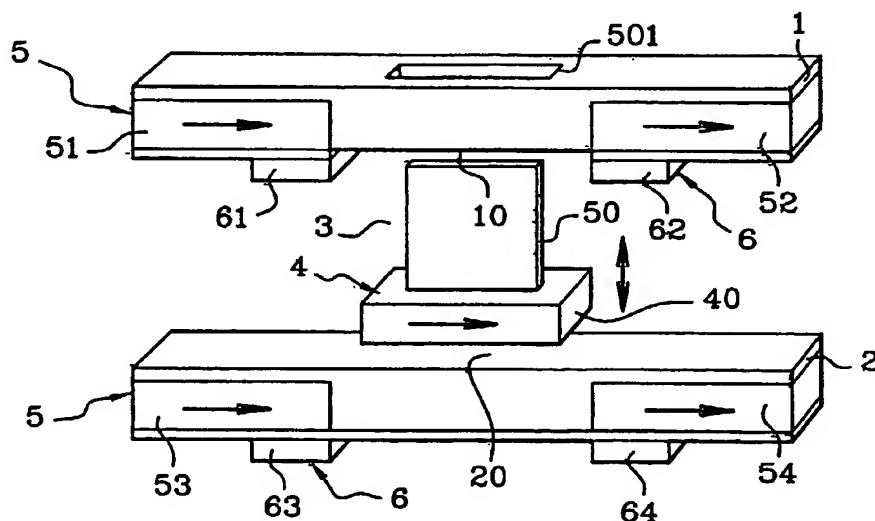
(74) Mandataire : **SIMONNET, Christine**; c/o BREVATOME, 3, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 PARIS (FR).

(81) État désigné (national) : US.

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: MAGNETIC LEVITATION ACTUATOR

(54) Titre : ACTIONNEUR MAGNETIQUE A LEVITATION



(57) Abstract: The invention relates to a magnetic actuator comprising a mobile magnetic part (4), a fixed magnetic part (5) and means for starting the displacement of the mobile magnetic part (4) with respect to the fixed magnetic part (5). The inventive actuator comprises at least two amagnetic supports (1, 2) arranged on the different planes, whereby forming a space (3) therebetween. The fixed magnetic part (5) is connected at least to one of the supports (1, 2). Each support (1, 2) is provided with a stop area (10, 20) for the mobile magnetic part (4) which is separated from the fixed magnetic part (5). The mobile magnetic part (4) is in levitation in the space (3) between two supports (1,2) as a result of a magnetic guidance produced by the fixed magnetic part (5) when it is not abutted against the stop area (10,20) of the supports (1, 2). The mobile magnetic part (4) is enable to take several stable magnetic positions when it is abutted against the supports (1, 2).

[Suite sur la page suivante]

WO 2004/015725 A3



(84) États désignés (*régional*) : brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

**Publiée :**

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

(88) Date de publication du rapport de recherche

internationale:

29 avril 2004

(57) **Abrége :** Il s'agit d'un actionneur magnétique comportant une partie magnétique mobile (4), une partie magnétique fixe (5) et des moyens (6) pour déclencher le déplacement de la partie magnétique mobile (4) par rapport à la partie magnétique fixe (5). Il comporte au moins deux supports (1, 2) amagnétiques, placés dans des plans différents, délimitant entre eux un espace (3), la partie magnétique fixe (5) étant solidaire d'au moins un des supports (1, 2). Les supports (1, 2) présentent chacun une zone de butée (10, 20) pour la partie magnétique mobile (4), la zone de butée (10, 20) étant distincte de la partie magnétique fixe (5). La partie magnétique mobile (4) est en lévitation dans l'espace (3) entre les deux supports (1,2) grâce à un guidage magnétique dû à la partie magnétique fixe (5) lorsqu'elle n'est pas en butée contre la zone de butée (10, 20) de l'un des supports (1, 2). La partie magnétique mobile (4) est susceptible de prendre plusieurs positions magnétiques stables, dans chacune de ces positions, elle est en butée contre un support (1,2).

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern ication No  
PCT/PA 03/02410

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H01F7/16 H01H50/00 F15C5/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01F H01H F15C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 144 982 A (WILLBANKS CHARLES E) 8 September 1992 (1992-09-08) column 2, line 30 -column 4, line 27; figures 1-4	1-4
A	DE 202 03 718 U (ETO MAGNETIC KG) 4 July 2002 (2002-07-04) page 7 -page 9; figures 1,2	1-4
A	EP 0 193 664 A (LEVITRON INTERNATIONAL LIMITED) 10 September 1986 (1986-09-10) page 11, line 1 -page 12, line 15; figures 1,2	i
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

8 March 2004

Date of mailing of the international search report

15/03/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Marti Almeda, R

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern

ation No

PCT/13/02410

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with Indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>YE X Y ET AL: "A magnetic levitation actuator for micro-assembly"            TRANSDUCERS 97. 1997 INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOLID-STATE SENSORS AND ACTUATORS. DIGEST OF TECHNICAL PAPERS (CAT. NO.97TH8267), PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL SOLID STATE SENSORS AND ACTUATORS CONFERENCE (TRANSDUCERS '97), CHICAGO, IL, USA, 16-19 JUN, pages 797-799 vol.2, XP002236025            1997, New York, NY, USA, IEEE, USA            ISBN: 0-7803-3829-4            the whole document</p>	1,22
A	<p>RUAN M ET AL: "LATCHING MICROMAGNETIC RELAYS"            JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 10, no. 4, December 2001 (2001-12), pages 511-517, XP001124525            ISSN: 1057-7157            cited in the application            page 1; figures</p>	1,22



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internationa

lication No

PCT/3/02410

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5144982	A	08-09-1992	US 5193781 A	16-03-1993
DE 20203718	U	04-07-2002	DE 20203718 U1	04-07-2002
			DE 10310448 A1	18-09-2003
EP 0193664	A	10-09-1986	EP 0193664 A1	10-09-1986

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demander No  
PCT/FI/02410

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 7 H01F7/16 H01H50/00 F15C5/00

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H01F H01H F15C

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, INSPEC, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 5 144 982 A (WILLBANKS CHARLES E) 8 septembre 1992 (1992-09-08) colonne 2, ligne 30 -colonne 4, ligne 27; figures 1-4	1-4
A	DE 202 03 718 U (ETO MAGNETIC KG) 4 juillet 2002 (2002-07-04) page 7 -page 9; figures 1,2	1-4
A	EP 0 193 664 A (LEVITRON INTERNATIONAL LIMITED) 10 septembre 1986 (1986-09-10) page 11, ligne 1 -page 12, ligne 15; figures 1,2	1
	----	
	-/--	

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

### \* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*Z\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

8 mars 2004

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

15/03/2004

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Marti Almeda, R

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No  
PCT/13/02410

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>YE X Y ET AL: "A magnetic levitation actuator for micro-assembly"</p> <p>TRANSDUCERS 97. 1997 INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOLID-STATE SENSORS AND ACTUATORS. DIGEST OF TECHNICAL PAPERS (CAT. NO.97TH8267), PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL SOLID STATE SENSORS AND ACTUATORS CONFERENCE (TRANSDUCERS '97), CHICAGO, IL, USA, 16-19 JUN, pages 797-799 vol.2, XP002236025 1997, New York, NY, USA, IEEE, USA ISBN: 0-7803-3829-4</p> <p>le document en entier</p>	1,22
A	<p>RUAN M ET AL: "LATCHING MICROMAGNETIC RELAYS"</p> <p>JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 10, no. 4, décembre 2001 (2001-12), pages 511-517, XP001124525 ISSN: 1057-7157</p> <p>cité dans la demande page 1; figures</p>	1,22

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No  
PCT/FR03/02410

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5144982	A	08-09-1992	US 5193781 A	16-03-1993
DE 20203718	U	04-07-2002	DE 20203718 U1	04-07-2002
			DE 10310448 A1	18-09-2003
EP 0193664	A	10-09-1986	EP 0193664 A1	10-09-1986

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**